The University of No
at Greensboro

JACKSON LIBRARY

BUILDING USE
ONLY

JACKSON LIBRARY-UNCG
V.3-4
3 0510 10023301

Mendenhall Hall

College.

Purchased from
The Horsford Fund.

No 119773

QM
131
S830
v.3-4

Lehrbuch

der

Muskel- und Gelenkmechanik

Von

Dr. H. Straßer
o. ö. Professor der Anatomie und Direktor des anatomischen Instituts
der Universität Bern

III - IV

III. Band: Spezieller Teil

Die untere Extremität

Mit 165 zum Teil farbigen Textfiguren

I
HB75

Berlin
Verlag von Julius Springer
1917

Alle Rechte, insbesondere
das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

119773

613.71
St 8

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 1

I. Hüfte und Oberschenkel 3

A. Anatomische Orientierung über das Skelett 3

α) Die Hüftgelenkpfanne 3

β) Das Oberschenkelbein (Femur) 5

γ) Erste Orientierung über das Kniegelenk 10

B. Übersicht über die Muskeln an der Hüfte und am Oberschenkel. Oberschenkelfaszie 10

α) I. Muskelgruppe. Die Adductoren im weiteren Sinne des Wortes. 11

β) II. Gruppe. Der Extensor cruris quadriceps 14

γ) III. Gruppe. Iliopsoas und Sartorius 17

δ) IV. Gruppe. Die tiefen äußeren und hinteren Muskeln der Hüfte 17

ε) V. Gruppe. Die langen Kniegelenkbeuger am Oberschenkel. . . 18

ζ) VI. Gruppe. Die oberflächlichen äußeren und hinteren Muskeln der Hüfte 20

η) Das Basisfeld der Extremität 21

ϑ) Bemerkungen über die Faszien im allgemeinen und über die Oberschenkelfaszie im besonderen 22

C. Stellungen und Bewegungen am Hüftgelenk 27

α) Beurteilung und Definition der Stellungen des Femur im Hüftgelenk 27

1. Die Bestimmungsebenen des Beckens 28

2. Bestimmungspunkte und Bestimmungsebene des Femur . . . 30

3. Graphische Darstellung der Femurstellung. Exkursionskugelfläche mit Gradeinteilung. Skelettphantom 30

4. Bestimmung beim Lebenden 32

β) Bestimmung und Registrierung der Stellungsänderungen des Femur 34

1. Definitionen 34

2. Bewegungsmöglichkeiten (Bewegungsumfang) im Hüftgelenk . 34

a) Am Bänderpräparat 34

b) Am Lebenden 37

γ) Instantane Drehungen und Drehbeschleunigungen 39

Vereinbarung bezüglich der Wahl der Achsen 39

a) Inkorrekte Wahl der Hauptachsen 40

b) Zum Becken feste Achsen 41

c) Zum Femur feste Achsen (H. v. Meyer) 42

d) Wahl der Achsen nach Straßer 43

D. Kräfte zur Drehung im Hüftgelenk 45

α) Die Beurteilung der statischen Momente 45

1. Der physiologische Faktor 46

a) Die Spannung des Muskels pro Einheit des Querschnittes. . 46

b) Der maßgebende Querschnitt des Muskels 49

Einfache Methode zur Bestimmung des effektiven Querschnittes 50

674163

Seite

2. Der geometrische Faktor 52

a) Bestimmung durch Projektion 52
b) Koordinatenmethode von A. Fick 53
c) Verfahren von A. E. Fick 53
d) Wahl der Achsen 55
e) Das Skelettmuskelphantom 56
f) Das Globusmuskelphantom von Straßer und Gaßmann. 58
g) Zerlegung der resultierenden Drehungsmomente nach den drei Hauptachsen (graphische Darstellung) 62
h) Einfaches Verfahren zur Bestimmung des Drehungseinflusses der Hüftgelenkmuskeln bei den verschiedenen Gelenkstellungen 66
i) Abänderung des geometrischen Faktors mit der Stellungsänderung 69

β) Kinetische Aufgaben 71

1. Drehbeschleunigungen und Drehungsebene 71
2. Das Arbeitsvermögen der Hüftgelenkmuskeln 72

E. Zusammenfassung der Beobachtungen über die Wirkungsweise der einzelnen Hüftgelenkmuskeln 74

α) Vorbemerkungen 74
β) Die Adductoren 75
γ) Der Musculus rectus femoris 78
δ) Iliopsoas und Sartorius 79
ε) Tiefe hintere und äußere Muskeln der Hüfte 80
ζ) Mm. semimembranosus, semitendinosus und langer Kopf des Biceps 82
η) Glutaeus maximus und Tensor fasciae latae 83

F. Bau und Einrichtung (Schlußpräparation) des Hüftgelenkes 86

α) Genaueres über die Gelenkkörper 86

1. Das obere Gelenkende des Femur 86
2. Die Hüftgelenkpfanne 89

β) Unmittelbar am Hüftgelenk gelegene Muskeln und ihr Verhalten zur Gelenkkapsel. Schleimbeutel 90

1. Verhalten des M. iliopsoas zum Gelenk 93
2. Verhalten des M. obturator externus zum Gelenk 94

γ) Präparation und Untersuchung der Hüftgelenkkapsel mit ihren Bändern von außen 96

1. Übersicht über die langen Bänder 96
2. Inanspruchnahme der Bänder bei den verschiedenen Stellungen und Bewegungen des Femur im Hüftgelenk 97

Beurteilung nach der Stellung des Schenkelhalses zur Pfanne, Orientierungspunkte am Pfannenrand 97
Mittelstellung und abgelenkte Stellungen 102

3. Das Lig. iliofemorale 104
4. Das Lig. ischiofemorale 109
5. Das Lig. pubofemorale (superficiale) 110
6. Genaueres über den Ursprung und Ansatz der Kapsel 111
7. Gelenkkapsel von innen 112
Zona orbicularis 112

Zusammenschiebung und Faltung der Kapsel 117
Fibrae recurrentes. Retinacula des Orbiculus 118

8. Das Lig. teres (Lig. intraarticulare) des Hüftgelenkes 120

δ) Bemerkungen über die Hüftgelenkluxationen und ihre Reposition 122

Seite
ε) Entwicklung des Hüftgelenkes 125
Ossifikation. Gestalt und Entwicklung der Gelenkkörper. Die kongenitale Hüftgelenkluxation 125

G. Die Wirkung des Luftdruckes am Hüftgelenk 128
1. Orientierung. Historisches und Kritisches 128
2. Die ökonomische Bedeutung der Wirkung des Luftdruckes am Hüftgelenk 132
Zusammenfassung 134
H. Die Feststellung der Hüftgelenke im Stand 137
α) Stand auf einem Bein 137
β) Stand auf beiden Beinen 138
1. Vereinfachter Fall: Die Fußpunkte, die Hüftgelenke und die drei Partialschwerpunkte liegen in der gleichen Vertikalebene . 140
a) Die Schwere habe keinen Einfluß zur seitlichen Verschiebung des Beckens 141
b) Die Schwere wirke an und für sich zur seitlichen Verschiebung des Beckens 144
2. Verallgemeinerte Behandlung der Aufgabe 149
a) Projektion auf die Vertikalebene durch die Hüftlinie 149
b) Projektion auf eine Vertikalebene, welche zur Vertikalebene durch die Hüftlinie senkrecht steht 150
c) Projektion auf die Horizontalebene 152

II. Fuß und Unterschenkel 156

A. Anatomische Orientierung über das Unterschenkel- und Fußskelett 156
α) Das Skelett des Unterschenkels 156
1. Die Tibia 156
2. Die Fibula 159
3. Die Membrana interossea 160
β) Das Fußskelett 160
1. Übersicht über die Skelettstücke 160
2. Übersicht über die Gelenke des Fußes 164
3. Genaueres über einzelne Skelettstücke des Fußes 166
Calcaneus 166
Talus 166

B. Muskeln und Faszien 168
α) Übersicht über die Muskeln des Unterschenkels und Fußes. . . 168
1. Dorsale Muskeln 168
2. Plantare Muskeln 169
3. Die kurzen, plantaren Muskeln der Skelettstrahlen 175
a) Dorsale, abduktorische Muskeln 176
b) Plantare, adduktorische Muskeln 176
c) Intermediäre Muskeln 177
β) Die Faszien am Unterschenkel und Fuß 179
1. Dorsalseite 179
2. Faszie der Plantarseite 182
a) Am Unterschenkel 182
b) Am Fuß 183
α') Tiefe Faszie der gemeinsamen Fußsohle 183
β') Plantare Faszie der Zehen. 183
γ') Oberflächliche Faszie der gemeinsamen Fußsohle . . . 185

Seite
C. Präparation, Bau und Einrichtung der Fußgelenke 189
α) Bemerkungen zur Präparation der Gelenke im allgemeinen und der Gelenke des Fußes im besonderen 189
β) Die Interphalangealgelenke 190
γ) Die Metatarsophalangealgelenke. 191
1. Das erste Metatarsophalangealgelenk 194
2. Die übrigen Metatarsophalangealgelenke 195
δ) Gelenke und Bänder am Lisfranc und Vordertarsus 196
1. Gelenkspalten und Gelenkflächen 196
2. Ligamenta interossea des Vordertarsus und der Lisfrancschen Zone 198
3. Dorsale Bänder des Lisfranc 199
4. Dorsale Bänder zwischen den Elementen des Vordertarsus . . 201
5. Die plantaren Bänder des Vordertarsus 202
Ausstrahlung der Sehne des Tibialis post. 203
6. Plantare Bänder am Lisfranc 203
Sehne und Sehnenscheide des M. peroneus longus 205
ε) Das Lig. plantare commune 206
ζ) Die Verbindung zwischen Calcaneus und Vordertarsus (Articulatio calcaneo-cuboidea) 207
η) Das gemeinsame Sprunggelenk 209
1. Äußere Formverhältnisse der Sprunggelenkgegend 210
2. Die Kapseln der drei Sprunggelenke 212
3. Die Bewegung in den unteren Sprunggelenken 214
a) Motus talo-calcaneus 214
b) Motus talo-navicularis 217
4. Die Bewegung im oberen Sprunggelenk (Motus talo-cruralis). 217
5. Der Bandapparat der Sprunggelenke 218
a) Der oberflächliche Bandapparat des gemeinsamen Sprunggelenkes. 218
b) Eigenbänder und anatomische Besonderheiten des vorderen unteren Sprunggelenkes. 220
c) Eigenbänder und anatomische Besonderheiten des hinteren unteren Sprunggelenkes. 222
d) Anatomische Besonderheiten des oberen Sprunggelenkes; Gelenkcharakter; Eigenbänder; Bewegungsumfang 225
ϑ) Die Tibio-Fibularverbindung 229
1. Das untere Tibio-Fibulargelenk 229
2. Die Membrana interossea tibio fibularis 230
3. Das obere Tibio-Fibulargelenk 231
4. Federn der Malleolusgabel 232
D. Der Fuß als Ganzes. Änderung der Fußstellung und Fußform. Wirkungsweise der Kräfte zur Feststellung und Bewegung in den verschiedenen Gelenken des Fußes 234
α) Übersicht über die an den Fuß hinsichtlich der aktiven und passiven Beweglichkeit gestellten Ansprüche 234
β) Der Zehenteil 236
γ) Die Bewegung der Metatarsalia in der Lisfrancschen Gelenkzone 238
a) Bewegungsmöglichkeiten. Natürliche Torsion des Matatarsus. Hypertorsion und Detorsion 238
b) Torsion, Hypertorsion und Detorsion des ganzen Fußes. Verhältnisse beim Plattfuß und Hohlfuß 239
δ) Durchbiegungsmöglichkeit im Vordertarsus 241
ε) Wirkung der Kräfte zur Feststellung und zur Bewegung im Chopart 242
ζ) Bewegung und Feststellung in den unteren Sprunggelenken bei aufgesetztem Fuß 244

Seite
1. Motus talo-calcaneus 244
2. Mitbewegung in der Articulatio calcaneo-cuboidea und Motus talo-navicularis 245
a) Gleichsinnige Bewegung in den beiden Junkturen um die beiden schrägen Achsen; Talusexzenter; Form der Pfanne am Naviculare 245
b) Ungleichsinnige Bewegung um die beiden schrägen Achsen. 249
Verhältnisse bei vorn aufgesetzter Sohle 249
Verhältnisse bei vorn und hinten aufgesetzter Sohle 250
η) Die Wirkung der Muskeln am Chopart und an den Sprunggelenken 252
a) Muskelwirkung am Chopart (Motus talo-navicularis) 253
b) Muskelwirkung an der Talo-calcaneus-Junktur 254
c) Arbeitsleistung der Muskeln an der Talo-Calcaneusjunktur . . 255
d) Wirkungsweise der Muskeln am oberen Sprunggelenk 256
e) Kombinierte Aktionen an beiden Gelenken 258
ϑ) Bedingungen der Feststellung und Bewegung im oberen Sprunggelenk 260
a) Statische Verhältnisse. Allgemeine Bedingungen der Feststellung des Gelenkes beim Stehen 260
b) Erhebung in den Zehenstand 260
c) Genauere theoretische Analyse der Bedingungen des Zehenstandes und der Erhebung des Fußes auf die Zehen 263
1. Zehenstand. Kräfte am Oberstück. Kräfte am Unterstück 263
2. Erhebung auf die Zehen 264
d) Weitere Bemerkungen über die Streckaktion am oberen Sprunggelenk 265
e) Aktion der Beuger des oberen Sprunggelenkes und Bedeutung der Ferse beim Stand 267
f) Inanspruchnahme der Fibula und der Tibiofibularverbindung . 269
Federnde Feststellung des Talus in der Beugestellung 271
E. Die besonderen Einrichtungen der Fußkonstruktion zur Festigung gegen Belastung 271
α) Die Wölbung des Fußes. Allgemeines über Gewölbekonstruktionen 271
β) Plantare Bindungen und Verklammerungen am Fuß 273
γ) Gewölbebogen und Gewölbesteinschnitt am Fuß 274
1. Stand auf dem inneren Fußrand 274
2. Stand auf dem äußeren Fußrand 276
3. Stand auf ganzer Vordersohle. Zehenstand 277
4. Rückblick 277
5. Beziehung des Fugenverlaufes zur Bewegung 280
δ) Die Ansichten der Autoren über die Gewölbekonstruktion des Fußes 281
F. Anhang. Zur Lehre vom Plattfuß 283
α) Vorbemerkungen 283
β) Entwicklungsgeschichte des statischen Plattfußes 288
1. Der Fuß beim Neugeborenen und bis zum Erlernen des Stehens und Gehens 288
2. Der kindliche Plattfuß 289
3. Der Plattfuß der Pubertätszeit und des späteren Lebensalters 290
γ) Entwicklungsmechanik des Plattfußes 291
1. H. v. Meyers Lehre von der Pronation zwischen Talus und Calcaneus und von der Totaleinknickung im Chopart. Kritik derselben. Notwendigkeit der Detorsion im vorderen Teil des Fußes 291

Seite
2. Der Vorgang der Abflachung der Fußwölbung beim Plattfuß nach unserer Auffassung 294
3. Das Verhalten der Muskeln bei der Entstehung des Plattfußes 302
4. Rückblick 304
δ) Skelettdeformationen beim Plattfuß 306

III. Das Kniegelenk 310
A. Erste Orientierung. Grundzüge des Baues und der Funktion 310
B. Legende zur Präparation des Kniegelenkes 319
α) Vorderseite 319
1. Präpatellare Schleimbeutel und Faszie 319
2. Quadriceps, Patella und Ligg. patellaria 320
3. Lageveränderungen der Kniescheibe und des Quadriceps bei der Bewegung im Gelenk 321
4. Der Raum unter der Sehnenkappe und seine Ausfüllung . . . 324
5. Die Bursa synovialis suprapatellaris 328
β) Die Hinterseite des Kniegelenkes 329
1. Grundschicht der hinteren Kapselwand und Kreuzbänder . . 329
2. Einstrahlung der Semimembranosussehne 331
3. Die Wadenmuskeln hinten am Kniegelenk 331
4. Hintere Ränder der Muskelkappe 333
γ) Die Seiten des Kniegelenkes 335
C. Genaueres über die Bewegungen im Kniegelenk 335
α) Die Hauptprofile der tibialen Gelenkflächen des Femur. 335
β) Die mit der Beugung und Streckung kombinierte Längsrotation. 338
γ) Drehgleiten und Rollung bei der Beugung und Streckung. . . . 340
1. Theoretisches über Achsenebenen und Pollinien, Abrollung und Drehgleiten 341
a) Fortlaufende Drehung zweier starrer Körper gegeneinander um wandernde Achsen. Achsenflächen und Pollinien . . . 341
b) Die Bewegung zweier starrer Körper aneinander unter Beibehaltung des Kontaktes 341
α') Gleiten und Drehgleiten 341
β') Rollbewegung, Kombinierte Bewegungen 350
2. Drehgleiten und Rollbewegung im Kniegelenk 353
D. Die Bänder des Kniegelenkes und die Menisci 358
α) Die Seitenbänder 358
1. Das mediale Seitenband (Lig. collaterale mediale) 358
2. Das laterale Seitenband (Lig. collaterale laterale) 361
β) Die Kreuzbänder 363
1. Anatomie der Kreuzbänder 363
2. Die Stellungsänderung der Ansatzpunkte und die Spannungsänderung der Kreuzbänder 367
3. Das hintere innere Kreuzband 371
4. Das vordere äußere Kreuzband 372
5. Verhalten der Kreuzbänder und Seitenbänder bei der Aus- und Einwärtsrotation des Unterschenkels 374
6. Bedeutung der Kreuzbänder zur Verhinderung der Abscherung 375
7. Zusammenfassung mit Bezug auf die Kreuzbänder. 378
γ) Die Schlußrotation bei der Streckung 379
δ) Die Menisci. 381
1. Anatomisches. Bewegungsmöglichkeiten 381
2. Verhalten der Menisci bei der Beugung und Streckung 383
3. Verhalten der Menisci bei der Längsrotation 386

Seite

E. Bewegungsumfang im Kniegelenk, Drehungseinfluß der Muskeln 389
1. Grundstellung des Kniegelenkes 389
2. Bewegungsumfang der Beugung und Streckung 389
3. Umfang der Längsrotation, Torsion der Tibia 390
4. Wirkungsweise der Muskeln am Kniegelenk 392
a) Strecker des Kniegelenkes. Kniescheibe 392
b) Beuger 393
c) Längsrotierende Wirkung der Muskeln 394

IV. Das Bein als Ganzes. Kombinierte Aktion an den Hauptgelenken . . . 396

α) Die Feststellung der Beingelenke beim Stand 396
Die Theorie von H. v. Meyer 396
β) Abhängigkeit der Beingelenke voneinander bei der Bewegungsaktion 399
1. Erscheinungen an den zwei- und mehrgelenkigen Muskeln. . . 399
2. Die Bedeutung der zweigelenkigen Muskeln 400
γ) Die Arbeitsleistung an den verschiedenen Gelenken bei kombinierter Aktion 406
δ) Weitere kombinierte Aktionen 410
Literaturverzeichnis 411

Einleitung.

Die untere Extremität des Menschen ist entsprechend seinem aufrechten Gang und Stand das Hauptorgan für die Unterstützung des Stammes und für die Fortbewegung des ganzen Körpers. Ihre Länge vom Hüftgelenk bis zur Sohle kommt beim Erwachsenen nahezu der Länge des Stammes gleich. Beide untere Extremitäten zusammen mit Einschluß aller Hüftmuskeln haben nahezu die Hälfte des Körpergewichtes und ihre Muskulatur macht mehr als die Hälfte der ganzen quergestreiften Muskulatur des Körpers aus. Beim aufrechten Stand stellen die unteren Extremitäten zwei stattliche, nach oben an Mächtigkeit zunehmende Säulen dar, welche sich direkt nach oben in die Masse des Stammes fortsetzen.

Das Bein ist mit dem Stamm in der Hüfte verbunden. Sein verbreiterter Endteil, der Fuß, ist beim gewöhnlichen aufrechten geraden Stand rechtwinklig zum aufrecht gestellten Rest abgeknickt und mit ganzer Sohle, von der auffallend stark entwickelten Ferse bis zu den Zehen dem Boden aufgesetzt. Der mächtige zwischen Fuß und Stamm gelegene Abschnitt besitzt ungefähr in der Mitte ein Gelenk (Kniegelenk), welches die Grenze zwischen Ober- und Unterschenkel bildet.

Das axiale Stützgerüst der Extremität verbreitert und kompliziert sich distalwärts. Im Oberschenkel ist es durch bloß einen Knochen, das Oberschenkelbein (Femur) repräsentiert; im Unterschenkel stecken zwei Knochen, das stärkere Schienbein (Tibia) und nach außen und hinten davon das schlankere Wadenbein (Fibula). Das Fußskelett endlich stellt eine aus einer einfachen Lage von Knochen bestehende Platte dar, die sich im vorderen Endteil, der äußeren Zehengliederung entsprechend, in fünf gegliederte Strahlen spaltet.

Das basale, proximale Gelenk der Extremität, in welchen das Oberschenkelbein mit dem Hüftbein artikuliert (Hüftgelenk), gestattet verhältnismäßig ausgiebige und allseitige Exkursionen des Beines gegenüber dem Stamm aus einer Mittelstellung. Es erlaubt vor allem, den Oberschenkel vorn dem Rumpf zu nähern und ihn hinwiederum nach unten in die fortgesetzte Längsrichtung des Stammes zu bringen. Das Kniegelenk gestattet, die zwischen Stamm und Fuß gelegene Säule der Extremität vollständig zusammenzulegen.

Der Fuß ist gegenüber dem Unterschenkel umstellbar und vermöge der weitgehenden Gliederung seines Skelettes und seiner Muskulatur

in seiner Form aktiv und passiv veränderlich, so daß er sich unter den verschiedensten Umständen dem Boden federnd anzulegen und an ihm genügende Stütz- und Stemmpunkte zu finden vermag.

Die Muskeln der unteren Extremität lassen sich gut in zwei, in der Länge des Beines aufeinanderfolgende Hauptgruppen trennen, in die Muskeln des Oberschenkels und der Hüfte und in die Muskeln des Unterschenkels und Fußes. Am Knie greifen die beiden Gruppen etwas übereinander. Es empfiehlt sich, die Muskeln der oberen Gruppe zunächst nur in ihren Beziehungen zu dem Hüftgelenk und die Muskeln der unteren Gruppe nur in ihren Beziehungen zu den Gelenken des Fußes zu präparieren und zu studieren, die Untersuchung ihrer Beziehungen zum Kniegelenk aber auf zuletzt zu versparen. Danach ist auch in der folgenden Darstellung zunächst das Hüftgelenk besprochen, darauf folgen die Gelenke des Fußes; den Beschluß bildet das Kniegelenk. Ein letzter Abschnitt behandelt die Extremität als Ganzes und die Aktionen, bei welchen mehrere Gelenke der Extremität zusammenwirken.

I. Hüfte und Oberschenkel.

A. Anatomische Orientierung über das Skelett.

α) Die Hüftgelenkpfanne.

Im Hüftgelenk ist das Oberschenkelbein beweglich mit dem Hüftbein resp. dem Becken und dem Stamm verbunden. Das Becken und das Hüftbein sind im II. Bande dieses Lehrbuches (S. 31 u. ff.) in ihren wesentlichen Formverhältnissen besprochen worden. Das Hüftbein bildet die Gelenkpfanne, in welche das kopfartig gestaltete proximale Ende des Oberschenkelbeines eingefügt ist.

An der Bildung der knöchernen Pfanne beteiligen sich das Darmbein, der dorsale Schenkel des Sitzbeins und der inguinale Schenkel des Leistenbeins, und zwar mit verschieden großen Arealen, deren Ausdehnung ungefähr der Mächtigkeit der drei Knochen an ihrer Vereinigungsstelle entspricht, wie deutlich zu sehen ist an Präparaten von nicht völlig Erwachsenen, an welchen die dreistrahlige Knochenfuge zwischen den drei Komponenten noch erhalten ist. Die knöcherne Pfanne ist mit ihren aufgewulsteten Rändern so modelliert, als ob der Schenkelkopf sich in die Crista lateralis des Hüftbeins an der Vereinigungstelle der drei Knochen von unten vorn und außen her wie in plastisches Material hineingedrückt hätte, und zwar wesentlich senkrecht zur ventralen Breitseite des Os ischio-pubicum, nur etwas mehr von unten und außen her. Eine Ebene, welche durch die vorspringenden Punkte des knöchernen Pfannenrandes gelegt ist, geht in ihrer Fortsetzung vor der Symphysis pubis vorbei, trifft aber den inneren Rand des Tuber ischii. Ein Druck, dessen Resultierende durch die Mitte des Schenkelkopfes senkrecht zu dieser Pfanneneingangsebene auf die Pfanne wirkt und vom Mittelpunkt des Schenkelkopfes aus nach den drei Anteilen der Pfanne hin in drei Komponenten zerlegt wird, verteilt sich auf diese drei Abschnitte in Richtungen, welche mit den Hauptachsen der in der Pfanne zusammentreffenden Knochenbalken ungefähr übereinstimmen und der Größe nach der Mächtigkeit dieser Balken entsprechen (Fig. 1).

Bei aufrechtem Stand mit mittlerer Beckenneigung bildet der horizontale Durchmesser der „knöchernen" Pfanneneingangsebene mit der Sagittalebene einen nach hinten offenen Winkel von ca. 40°. Durch diese Linie steigt die Ebene in einem Winkel von ca. 60° zum Horizont nach vorn auf.

Der knöcherne Pfannenrand zeigt unten, am Foramen obturatum, einen Ausschnitt (Incisura acetabuli). Dem anschließenden Teil des Pfannengrundes fehlt der Knorpelüberzug. Der knöcherne Pfannenboden ist hier rauh und gegenüber dem Niveau der überknorpelten Gelenkfläche des vorderen, oberen und hinteren Randteiles der Pfanne vertieft (Fossa intraacetabularis). Die Ausfüllung bis in die Flucht

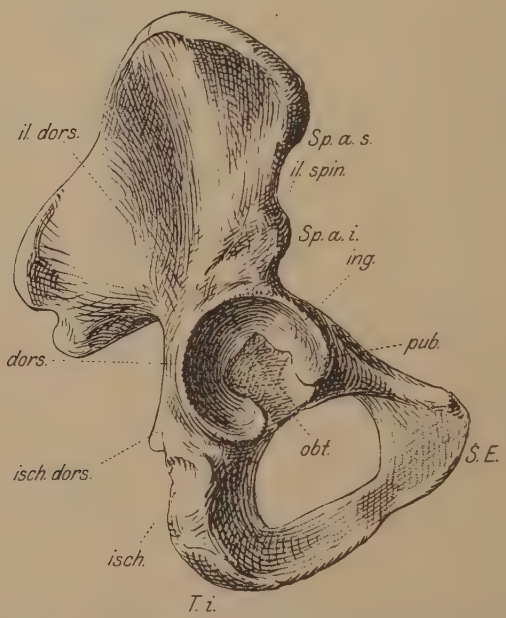


Fig. 1. Rechtes Hüftbein mit Vollansicht der Hüftgelenkpfanne.

der vom Knorpel gebildeten Gelenkfläche ist durch ein bindegewebiges Polster bewerkstelligt. In der Fortsetzung des hohen knöchernen Randes der Pfanne und des Außenrandes des Gelenkknorpels erhebt sich eine keilförmige, faserknorplige Lippe (Limbus fibrocartilagineus). Der so gebildete Pfannenrand wird ergänzt durch das Lig. transversum acetabuli, welches sich über die Incisura acetabuli hinüberspannt und sich als Verstärkung des die Fossa intraacetabularis auspolsternden und sich in die Incisura acetabuli fortsetzenden Gewebes darstellt. Die Pfannenfläche wird also nur zum Teil vom Knorpel gebildet; ein größerer Abschnitt von dem weicheren Polster, ein schmaler federnder Randteil vom Limbus fibrocartilagineus und Lig. transversum acetabuli. Die so vergrößerte Gelenkfläche greift mit ihrem Rand über den größten Umfang des Schenkelkopfes hinüber.

Der Schenkelkopf kann sich bei Erhaltung des breiten Kontaktes im Gelenk nur so bewegen, daß sein Mittelpunkt annähernd an derselben Stelle verbleibt. Es kommen also nur Drehungen des Femur in Betracht, und zwar Drehungen um Achsen, welche durch diesen Mittelpunkt gehen. Von einer Mittelstellung aus können Drehungen um

beliebig gerichtete Achsen, welche diese Bedingung erfüllen, stattfinden. Das Hüftgelenk ist ein Kugelgelenk, eine Arthrodie (freies Gelenk, vielachsiges Gelenk, dreiachsiges Gelenk).

β) Das Oberschenkelbein (Femur).

Das Oberschenkelbein (Femur), das einfache axiale Stützelement des Oberschenkels, ist ein langer Knochen, der oben im Hüftgelenk mit dem Becken, unten im Kniegelenk mit den Unterschenkelknochen ver-

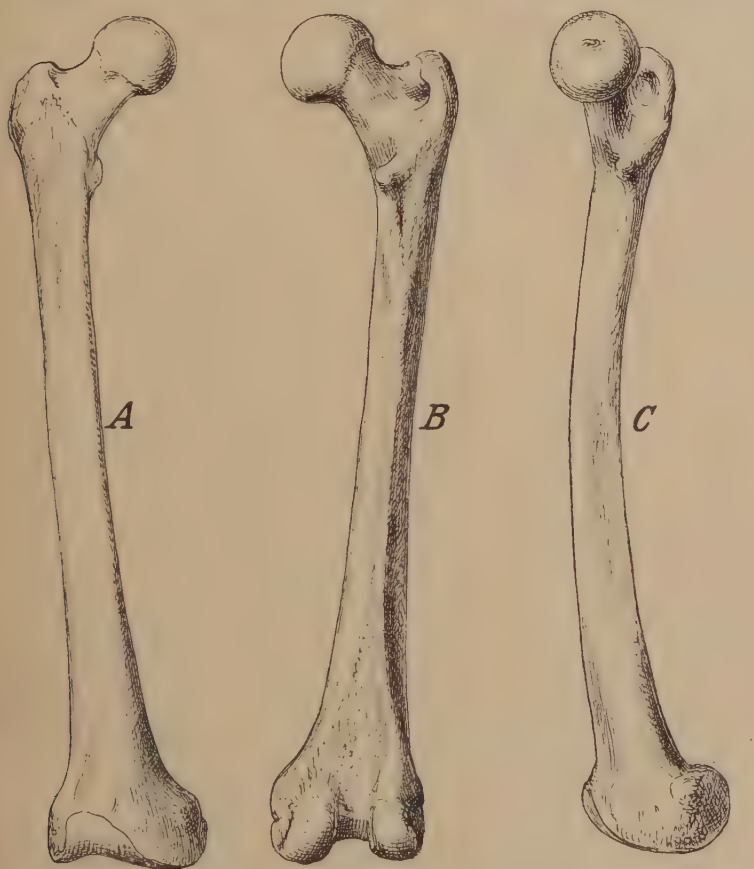


Fig. 2. Rechtes Oberschenkelbein. *A* von vorn, *B* von hinten, *C* von innen.

bunden ist. Der oberste Abschnitt ist nach innen gegen das Becken zu abgebogen und am Ende zum gerundeten Kopf verdickt, der beweglich in die Pfanne des Hüftbeines eingepaßt ist. Von der Mitte an nach unten

verdickt sich das Femur allmählich namentlich nach den Seiten, zuletzt aber ladet es etwas rascher nach außen und innen und ganz besonders stark nach hinten aus. Der Schaft zwischen der unteren Endanschwellung und dem oberen abgebogenen Ende ist leicht und ziemlich gleichmäßig nach vorn ausgebogen. Auch nach oben zu verdickt er sich; der abgebogene obere Endteil des Femur aber tritt gleichsam als eine Fortsetzung des schlanken Teiles des Schaftes aus der oberen Verdickung des letzteren nach innen heraus, so daß er am Beginn von den namentlich nach oben und hinten überragenden Teilen der oberen Auftreibung des Schaftes (Trochanteren oder Rollhügel) kragenartig umstellt ist. Der verschmälerte Teil zwischen den Trochanteren und dem Kopf wird als Schenkelhals bezeichnet. In der sog. anatomischen Ausgangsstellung des Femur, welche unserer Beschreibung zugrunde liegt, ist die obere Endabbiegung des Femur nicht genau nach innen, sondern etwas nach innen und vorn gerichtet.

Der obere Teil der kragenförmigen Vorragung, der große Rollhügel (Trochanter major), ist vorn oben durch ein stärkeres Joch mit dem Hals verbunden. Seine hintere obere Ecke ist von innen her durch eine tiefe rundliche Grube (Fossa subtrochanterica) unterminiert und schärfer vom Hals abgesetzt; weiter nach unten und innen, nahe der inneren Peripherie der Abbiegungsstelle des Femur ragt an der Hinterseite der kleine Rollhügel (Trochanter minor) vor. Der zwischen ihm und dem Trochanter major gelegene flachere Teil der kragenartigen Vorragung ist die Crista intertrochanterica, die schräg von außen oben nach innen unten absteigt. Vorn ist der Beginn des Halses nur undeutlich durch eine wenig vorragende Rauhigkeit (Linea obliqua) markiert. Mit den Formverhältnissen des Halses und Kopfes werden wir uns mit Rücksicht auf das Hüftgelenk noch eingehender zu beschäftigen haben.

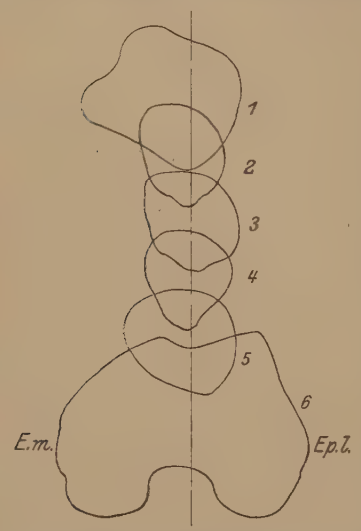


Fig. 3. Serie von Sägeschnitten durch das Oberschenkelbein. *E. m.* Epicondylus medialis, *Ep. l.* Epicondylus lateralis.

Der Schaft des Femur ist in seinem mittleren Teil annähernd dreiseitig prismatisch mit allein scharfer hinterer Kante (Crista femoris). Nach oben zu breitet er sich etwas zur Seite aus und plattet sich von vorn und hinten her etwas ab, unter Verbreiterung der Crista zu einem flachen undeutlich begrenzten Feld und immer besserer Ausprägung einer äußeren, schließlich in die Außenseite des Trochanter major übergehenden Seitenfläche.

Von der Mitte an nach unten verdickt sich der Femurschaft allmählich und wird mehr und mehr vierseitig, indem die Ränder (Labien) der Crista femoris auseinandergehen und zwischen ihnen ein abwärts zu breiter werdendes, dreieckiges, flaches Feld (Planum popliteum) auftritt. Die rückwärts konvergierenden Seitenflächen des Mittelstückes wenden sich in ihrer Fortsetzung nach unten mehr und mehr direkt nach innen und außen. Schließlich geht der Schaft in das nur wenig nach vorn, rascher zur Seite und noch plötzlicher und mächtiger nach hinten ausladende Kniegelenkende über. Beim aufrechten geraden Stand steigt der Schaft im ganzen etwas nach innen ab. Fig. 3 gibt eine Reihe von Sägeschnitten, welche bei dieser

Femurstellung horizontal angelegt und mit ihrem sagittalen Durchmesser genau übereinstimmend orientiert sind. Der oberste geht durch den Trochanter minor, der dritte durch die Mitte des Schaftes, der vierte durch den unteren Drittelpunkt; der fünfte Schnitt schneidet das Kniegelenkende in seiner größten Breite.

Die hintere Ausladung des Kniegelenkendes ist durch einen breiten vertikalen Einschnitt in zwei in der anatomischen Ausgangsstellung gleich weit rückwärts ragende Massen geteilt. Die Sonderung in zwei Massen (Kondylen) ist aber auch unten und vorn am unteren Femurende durch eine sehr viel seichtere Einsenkung angedeutet (Fossa intercondyloidea und Sulcus intercondyloideus). Eine überknorpelte Endfläche krümmt sich in der ganzen Breite des Gelenkendes unten herum von der Vorderseite bis zum unteren Ende des Sulcus intercondyloideus und setzt sich dann noch in zwei getrennten Streifen unter Zunahme der Krümmung auf die Unter- und Rückseite der beiden hinteren Ausladungen (Kondylenwülste) fort.

Das Kniegelenkende hat zwei deutlich ausgesprochene Seitenflächen, die nach vorn konvergieren.

Die rauhe innere Seitenfläche ist namentlich in ihrem vorderen Teil deutlich zugleich nach vorn gewendet und von vorn nach hinten leicht gewölbt. Die Innenseite des Femurschaftes erreicht diese Seitenfläche unter kegelmantelartiger Ausbreitung und geht vorne mit sanfter Wölbung in sie über, während sie weiter hinten gegen den oberen Teil der rauhen Innenfläche des Condylus internus als mächtiger gerundeter Hügel (Epicondylus medialis) schärfer ausladet.

Der laterale Condylus ragt über den schlanken Teil des Schaftes nur wenig nach außen vor. Er hat eine ziemlich flache, sagittal gestellte Außenseite, die vorn nur leicht nach außen vorgewölbt ist, nahe dem hinteren Ende zu einem flachen Höcker, dem Epicondylus lateralis sich erhebt. Durch eine tiefere Grube oder Rinne ist letzterer unten von der etwas aufgewulsteten äußeren Randkante getrennt. Seichtere Gruben finden sich an der hinteren Abdachung des Epicondylus.

Indem die hinteren Kondylenwülste nach oben etwas auseinanderweichen, verbreitert sich der rückwärts aufsteigende Grund der Incisura intercondyloidea. Von der Gelenkfläche des Sulcus intercondyloideus ist er durch eine Art Stufe, vom Planum popliteum aber durch eine schwellenartig vorspringende First (Crista intercondyloidea) abgesetzt.

Ohne weiteres ist klar, daß die äußere Gestalt des Femur in nützlicher Weise den an dieses Skelettstück gestellten mechanischen Anforderungen angepaßt ist. Die Abbiegung des oberen Endes nach innen verwandelt das Femur in den einseitig gebogenen Kran, welcher der zwischen Knie- und Hüftgelenk wirkenden Druckbeanspruchung federnd widersteht und zugleich dem oberen Ende eine geeignetere mittlere Stellung zu der Gelenkstelle am Beckengürtel und zu den am Beckengürtel entspringenden Muskeln gibt. Die sagittale Ausbiegung des Mittelstückes und unteren Endes nach vorn, ebenso wie die Entwicklung der Crista femoris in den mittleren Teilen, vermehrt die Biegungsfestigkeit des Femur in sagittaler Richtung, an welche bei der Verwendung des Femur als Bewegungshebel beim Gang, Lauf und Sprung usw. ganz besonders hohe Anforderungen gestellt werden. Es wirken hierbei die Muskeln der Hüfte ganz besonders auf die Trochanterengegend als rückwärtsziehende Kräfte ein, während am Hüftgelenk- und Kniegelenkende vorwärts gerichtete Kräfte bzw. Widerstände angreifen. Der hier besprochenen, der Funktion in nützlicher Weise angepaßten äußeren Gestalt des Femur entspricht natürlich auch die innere Architektur. Wir müssen es uns aber versagen, hier auf die inneren Strukturverhältnisse des Femur näher einzugehen.

Durch die Schenkelhalsachse, die Längsachse des Femurschaftes und die Längsachse des ganzen Oberschenkels läßt sich eine Ebene legen, welche wir als Hauptebene des Femur bezeichnen. In dieser Ebene bilden die drei genannten Linien ein Dreieck, dessen drei Winkel natürlich zusammen gleich 180° sind. Den oberen Winkel α zwischen Schenkelhalsachse und Femurlängslinie nennen wir den Ablenkungswinkel des Schenkelhalses. Der untere Winkel β zwischen der Femurschaftachse und der Femurlängsachse ist der Ablenkungswinkel des Femurschaftes.

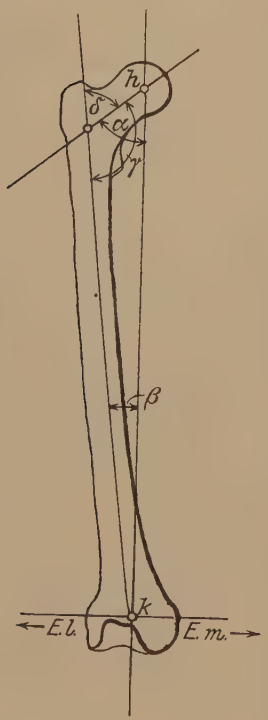


Fig. 4.

Den äußeren Winkel γ des Dreieckes (innen zwischen Schenkelhals- und Femurschaftachse) möchte ich als Innenwinkel des Femur bezeichnen, sein Komplement δ als Abknickungs- oder Abbiegungswinkel des Schenkelhalses (je größer dieser Winkel, desto größer ist die Abbiegung).

Der Innenwinkel ist zuerst genauer berücksichtigt und gemessen worden. Er beträgt 120—135° (im Mittel 130°) bei Männern, 112 bis 125° (im Durchschnitt 120°) beim Weibe nach Langer (1865). Die Abknickung ist also beim Weibe größer als beim Mann. Der Ablenkungswinkel des Femurschaftes β beträgt 5—7°. Danach ergibt sich für den Ablenkungswinkel α des Schenkelhalses ein Wert von 40—60°; er ist im allgemeinen größer beim Weibe, kleiner beim Mann.

Als Bestimmungsebene des Femur bezeichnen wir die Ebene, welche durch die Verbindungslinie beider Epikondylen (Epikondylenlinie, Flexions-Extensionsachse) und die auf ihre Mitte (den Kniepunkt) treffende Längsachse des Femur gelegt ist. Es ist diejenige Ebene des Femur, welche am leichtesten beim Lebenden bestimmt werden kann nach den beiden Epikondylen und der Hüftgelenkmitte, deren Lage zum Becken bekannt ist. Durch die drei letztgenannten Punkte der Bestimmungsebene ist die Lage des ganzen Femur dem Becken gegenüber bestimmt. (Näheres darüber in einem folgenden Kapitel.)

Die Hauptebene des Femur fällt nun im allgemeinen nicht zusammen mit der Verbindungslinie der Epikondylen resp. der Beugungs-Streckungsachse des Kniegelenkes in mittleren Beugestellungen, also auch nicht mit unserer Bestimmungsebene. Vielmehr schneidet sie sich mit der letzteren in der Längsachse des Femur und weicht in der Regel auswärts von der Schnittlinie mit der Bestimmungsebene von letzterer nach hinten ab.

Ein Maß für die Divergenz der Bestimmungsebene und der Hauptebene resp. für den von diesen beiden Ebenen eingefaßten Flächenwinkel erhält man durch Projektion der Schenkelhalsachse und der Epikondylenlinie auf eine zur Femurlängslinie senkrecht stehende Ebene (Fig. 5). Der Winkel zwischen den beiden Projektionen ist als Torsionswinkel des Femur bezeichnet worden. Der Ausdruck Torsion weckt die Vorstellung, als ob im Verlaufe der ontogenetischen oder auch der phylogenetischen Entwicklung von einem primären Zustande aus, bei welchem Hauptebene und Bestimmungsebene zusammenfielen, eine wirkliche Verdrehung stattgefunden habe, und zwar im Sinne einer Einwärtsdrehung des unteren Endes gegenüber dem oberen, oder einer Auswärtsdrehung des oberen Endes um die Femurlängslinie gegenüber

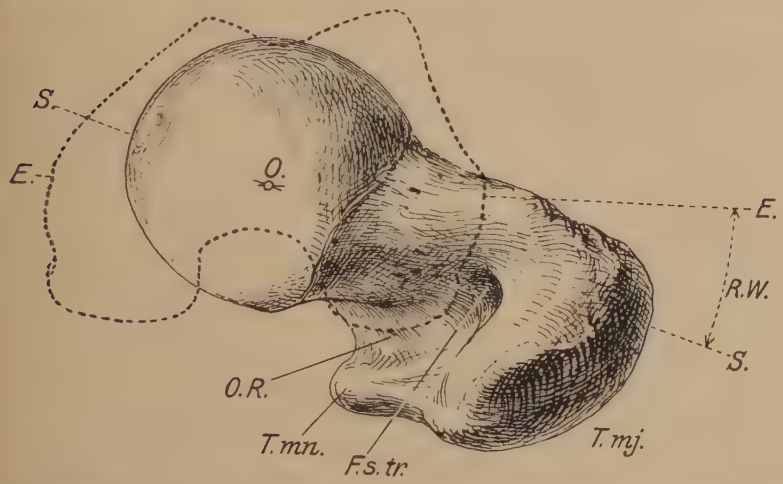


Fig. 5. Oberes Ende des r. Femur in der Richtung der Femurlängslinie geschen. Kontur des unteren Endes punktiert. *T. mj.* Trochanter major, *T. mn.* Trochanter minor, *F. s. tr.* Fossa subtrochanterica, *O. R.* Obturationsrinne, *E. E.* Epikondylenlinie, *R. W.* Rücklagerungswinkel der Femurhauptebene.

dem unteren Ende. Daß Änderungen in der Stellung beider Ebenen zueinander sich vollziehen und vollzogen haben, unterliegt keinem Zweifel. Doch geht weder die ontogenetische noch die phylogenetische Entwicklung von einer Extremität aus, bei welcher die beiden Ebenen zusammenfallen. Um dies ausdrücklich zu betonen, möchte ich die Divergenz zwischen der Bestimmungsebene und der Hauptebene einstweilen als scheinbare oder fiktive Torsion bezeichnen. Der fiktive Torsionswinkel ist positiv, wenn, wie gewöhnlich, das untere Femurende mit der Bestimmungsebene gegenüber dem oberen Ende (Hauptebene) nach innen gedreht erscheint.

Bezüglich der wirklichen Torsionsvorgänge, welche im Verlauf der ontogenetischen und phylogenetischen Entwicklung vor sich gehen, sei auf ein späteres Kapitel (im 4. Bande d. L.) verwiesen.

γ) Erste Orientierung über das Kniegelenk.

Mit dem unteren Ende des Femur sind die oberen Enden der beiden Unterschenkelknochen verbunden, und zwar in der Art, daß nur das größere und weiter proximalwärts ragende, mediale Stück, die Tibia, an die Gelenkhöhle des Kniegelenkes unmittelbar angrenzt und teils direkt, teils unter Zwischenlagerung faserknorpliger Menisci an das Femur anstößt, während die schlankere, lateral hinten gelegene Fibula außerhalb des Bereiches der Gelenkhöhle liegt und nur durch die Anheftung der lateralen Bandmasse in das Gelenk einbezogen ist. An der Rückseite des Gelenkes greift die Muskulatur des Unterschenkels zum Femur hinauf, während seitlich und vorn am Gelenk die Muskulatur des Oberschenkels bis zu den Unterschenkelknochen sich ausdehnt. Die vom Unterschenkel her über das Gelenk hinübergreifenden Muskeln verschmelzen oben, die vom Oberschenkel übergreifenden Muskeln verschmelzen zum Teil unten eine Strecke weit mit der Gelenkkapsel (siehe Allgemeiner Teil S. 105). Namentlich ist die Sehne des mächtigen, vorn am Unterschenkel gelegenen Kniegelenkstreckers mit der Vorderwand des Kniegelenkes eine Strecke weit vereinigt. In ihren Verlauf und zugleich in die Vorderwand des Kniegelenkes ist ein relativ mächtiges Skelettstück, die Kniescheibe (Patella) eingeschaltet.

Im Kniegelenk vollzieht sich vor allem die Beugung und Streckung des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel. Dementsprechend finden wir die Muskulatur des Kniegelenkes wesentlich als Beuge- und Streckmuskulatur an der hinteren und vorderen Seite des Gelenkes plaziert. In Beugestellungen ist außerdem eine Längsrotation des Unterschenkels in beschränktem Umfange möglich. Bei der Beugung und Streckung gleitet (und rollt zum Teil) das obere Ende der Tibia entlang der Hauptkrümmung der Femurkondylen unter stärkerer gleichsinniger Exkursion des Fußendes des Unterschenkels. Es handelt sich dabei jeweilen um eine Drehung um eine oberhalb der Gleitfläche annähernd quer von einer Seite zur anderen durch das Femur gehende Achse. Der vordere Teil der Femurgelenkfläche dient aber nur der gleitenden Verschiebung der Patella.

B. Übersicht über die Muskeln an der Hüfte und am Oberschenkel. Oberschenkelfaszie.

Die Muskeln, welche das Kniegelenk bedienen, liegen der Hauptmasse nach am Oberschenkel (siehe d. Lehrb. Allgemeiner Teil S. 129). Nur an der Rückseite des Knies greifen Muskeln des Unterschenkels (der Wade) über das Gelenk hinüber zum Femur. Sie unterbrechen und spalten hier die Schicht der zum Kniegelenk ziehenden Muskeln des Oberschenkels, die in ihrer Gesamtheit infolgedessen als eine hinten offene fleischig-sehnige Kappe das Kniegelenk nur vorn und an den Seiten

bedecken. Die betreffende Oberschenkelmuskulatur hüllt den Femurschaft ein, läßt aber die Trochanterengegend und ihre Fortsetzung in die Crista femoris frei, zur Insertion von Muskeln, welche nur das Hüftgelenk bedienen. Andererseits greift sie in einzelnen Zipfeln hinauf zu vorragenden Randteilen des Hüftbeins, wobei es sich um zweigelenkige Muskeln handelt, welche sowohl das Hüftgelenk wie das Kniegelenk überspringen. Die Hauptmasse der das Hüftgelenk bedienenden Muskeln liegt auch wieder proximal, nämlich dem Hüftgelenk und Rumpf benachbart. Es handelt sich hier um die Muskeln, welche an der dorsalen und ventralen Facette der Außenseite des Hüftbeins entspringen und anliegen. Zum Teil greifen ihre Ursprünge am inguinalen und am freien dorsalen Rand des Hüftbeins vorbei zur Innenseite des letzteren resp. der Rumpfwand. Diese Hüftmuskeln umschließen von allen Seiten das Gelenk und den Schenkelhals; die zunächst am Gelenk gelegenen heften sich an die Trochanterengegend. Soweit solches der Fall ist, bilden sie mit dem Schenkelhals einen besonderen Hüft- und Gesäßteil, der sich von der Masse des eigentlichen Oberschenkels abgliedert. Letztere besteht aus dem Oberschenkelschaft und aus Muskeln, welche ihn wesentlich der Länge nach begleiten.

Auch zwei oberflächliche Muskeln der Hüfte, der Tensor fasciae latae und der Glutaeus maximus, welche am Femur weiter hinabgreifen resp. in die Faszie des Oberschenkels ausstrahlen, schließen sich der Masse der Hüfte und des Gesäßes an. Nur an der Innenseite folgen auf die kurzen, dem Schenkelhals angeschlossenen Muskelfasern sukzessive immer längere, welche am Femur immer weiter hinabgreifen, bis zu solchen, welche die Innenseite des Knies und des oberen Tibiaendes erreichen. Infolge davon fehlt an der Innenseite vollständig jede Abgliederung zwischen einer Hüft- und Oberschenkelregion.

Ist es nun nicht möglich, die Sonderung zwischen Hüftmuskeln und Längsmuskeln des Oberschenkels überall genau durchzuführen, so lassen sich dagegen sehr gut eine Anzahl kleinerer Gruppen von Muskeln der Hüfte und des Oberschenkels auseinanderhalten, welche neben und übereinander gelagert sind. Wir führen sie auf in der Reihenfolge, in welcher sie an einem zerlegbaren Modell aufeinander und auf das Skelett aufgebaut werden müßten. Es ist dies auch die beste Reihenfolge, nach welcher wir uns die Teile in unserer Vorstellung vor Augen führen müssen, um zu einem klaren Bild des Ganzen zu gelangen.

α) I. Muskelgruppe. Die Adduktoren im weiteren Sinne des Wortes.

Sie entspringen an der ventralen Breitseite der Pars ischio-pubica des Hüftbeins und der Membrana obturatoria. Diese Breitseite stellt annähernd ein Dreieck dar mit einem Symphysen-, einem Sitzhöcker- und einem Gelenkwinkel. An letzterem reicht das Muskelursprungsfeld nicht ganz bis zum Pfannenrand. — Die Muskeln heften sich am Femur an in dem schmalen rauhen Feld, das vom Trochanter minor und der Gegend

hinter ihm zur inneren Lippe der Crista femoris verläuft, an dieser selbst und an ihrer Fortsetzung, die sich am medialen Rand des Planum popliteum bis zur medialen Seite des Knies hinzieht. Der längste, innerste Muskel der Gruppe (Musculus gracilis) überspringt sogar hinter dem Epicondylus medialis das Kniegelenk und erreicht die Tibia.

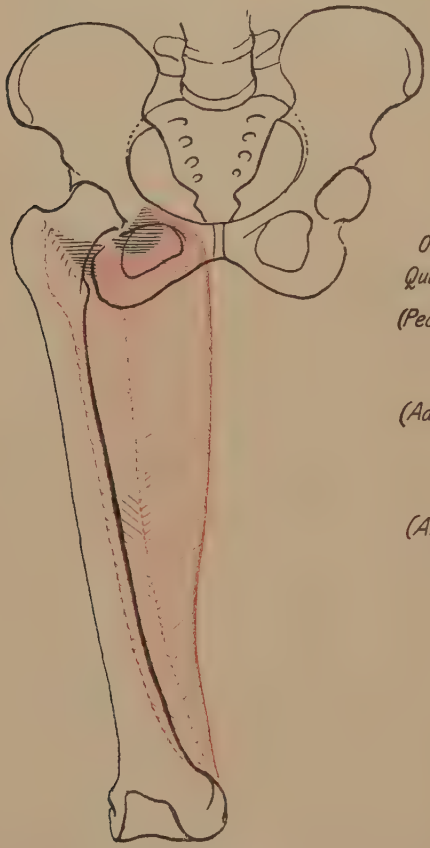


Fig. 6. Raumfigur der Adduktoren. (Schema.)

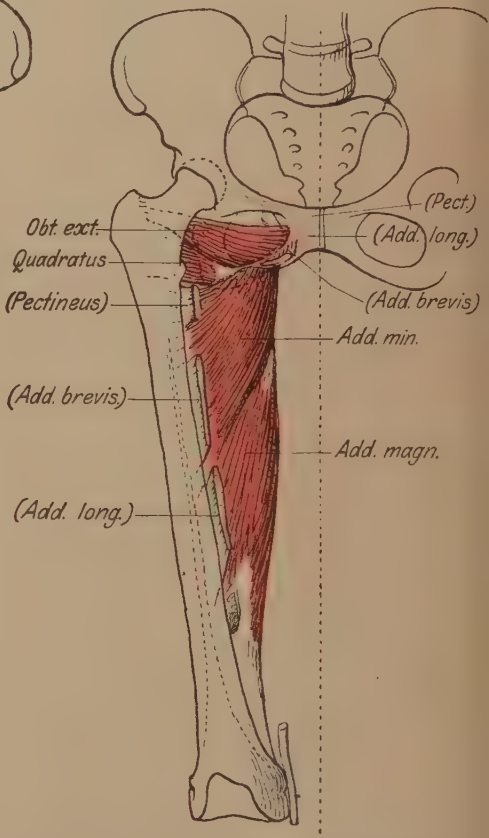


Fig. 7. Hintere Schicht der Adduktoren von vorn.

Die Adduktoren bilden zusammen eine Art dreiseitiger Pyramide (Fig. 6) mit drei von den drei Winkeln des Ursprungsfeldes absteigenden Längskanten und einer vorderen, etwas nach außen gewendeten, einer inneren, etwas nach hinten gerichteten und einer hinteren, stark nach außen sehenden Seitenfläche. Die Außenkante, die dem Femur entlang läuft, entspringt den Muskelinsertionen. Die Muskelgruppe besteht aus einer hinteren und einer vorderen Hauptschicht; erstere (Fig. 7) wird aus

dem Obturator internus und dem Quadratus femoris, aus dem Adductor minimus und aus dem Adductor magnus gebildet. Die vordere Schicht (Fig. 8) besteht aus dem M. pectineus, dem Adductor brevis und Adductor longus, sowie aus dem M. gracilis

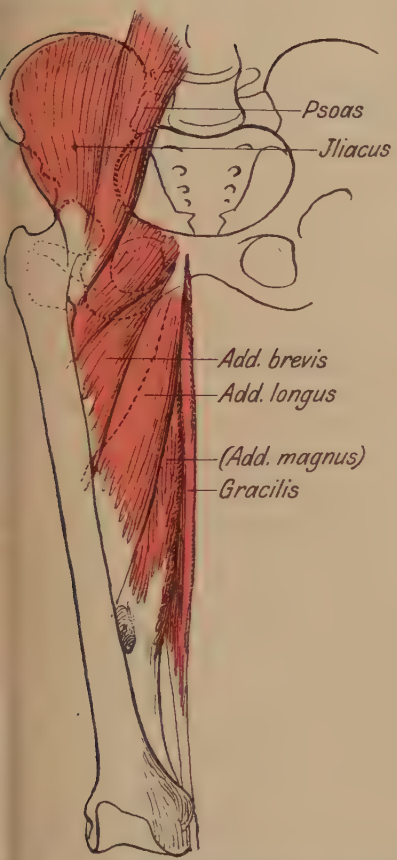


Fig. 8. Vordere Schicht der Adduktoren und Iliopsoas.

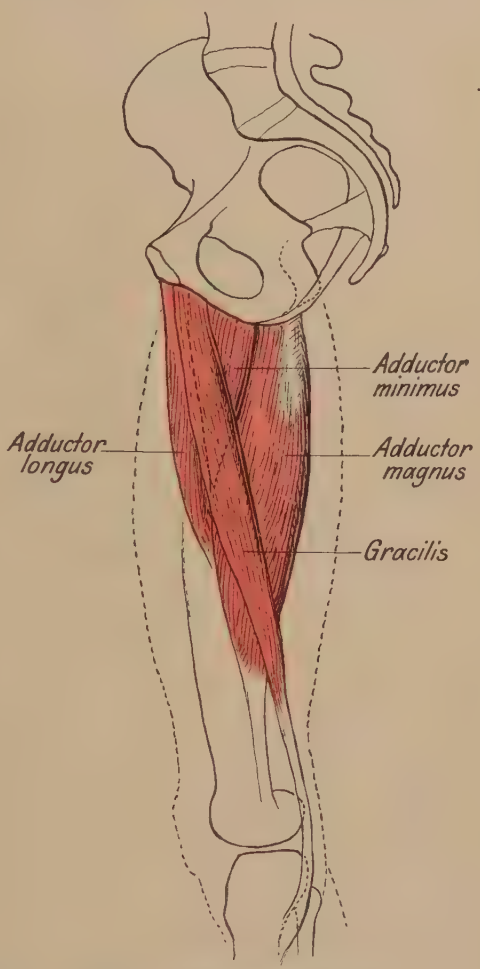


Fig. 9. Adduktoren von innen.

Am Ursprung schließen sich der M. pectineus und der M. adductor longus vor dem Adductor brevis zusammen (Fig. 8). In Fig. 9 ist die ganze Muskelgruppe von innen, in Fig. 10 ist sie von hinten her dargestellt.

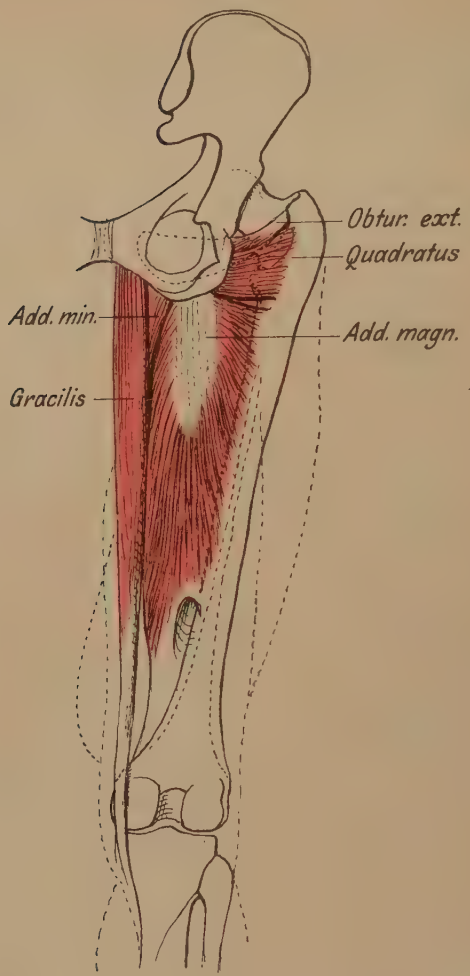


Fig. 10. Adduktoren von hinten.

β) II. Gruppe. Der Extensor cruris quadriceps.

Er besteht aus drei kurzen Köpfen, die nur das Kniegelenk überspringen, dem Vastus medialis, intermedius und lateralis und aus einem langen Kopf, dem zweigelenkigen M. rectus femoris, welcher auch noch das Hüftgelenk überspringt. Die Endsehnen der vier Köpfe schließen sich zu einer gemeinsamen Sehne zusammen, welche in die Vorderwand der Kniegelenkkapsel eingelassen ist. In ihren Verlauf ist hier die Kniescheibe eingeschaltet. Die Vasti bilden vorn und außen

am Femurschaft ein breites Muskelkissen, welches sich innen auf die Adduktoren von vorn auflegt, außen weiter über das Femur nach hinten vorquillt. Der Rectus ergänzt die vordere Rundung des Kissens und

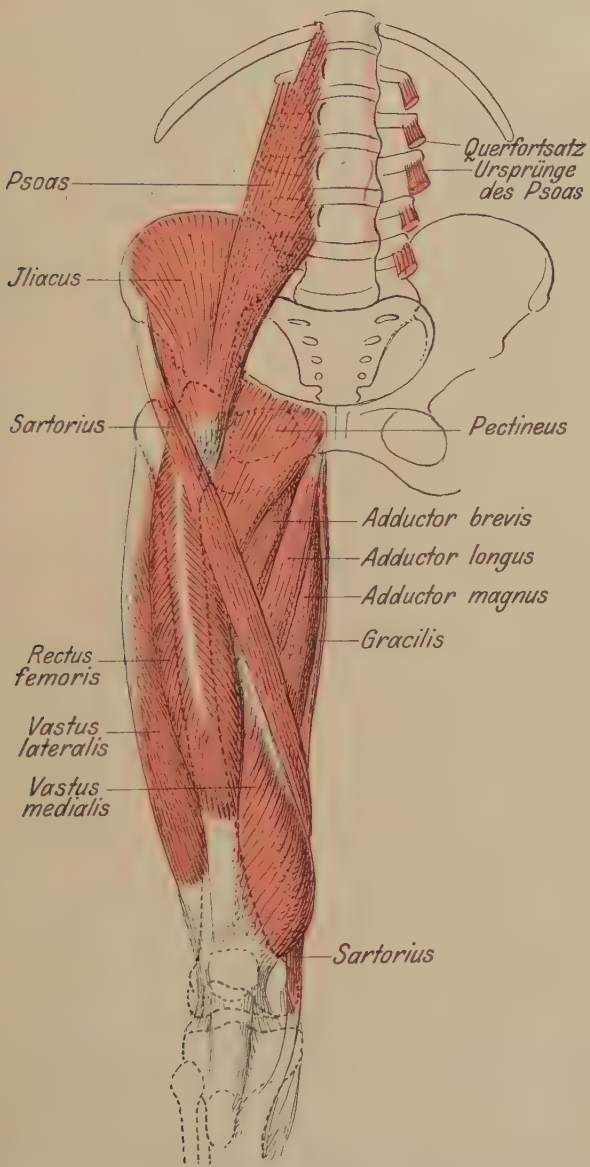


Fig. 11. Adduktoren, Quadriceps, Iliopsoas und Sartorius von vorn.

entspringt mit verbreiterter, meist zweizipfliger Sehne nach dem oberen und seitlichen Umfang des Randes der Hüftgelenkpfanne (Figg. 15, 44 und 49).

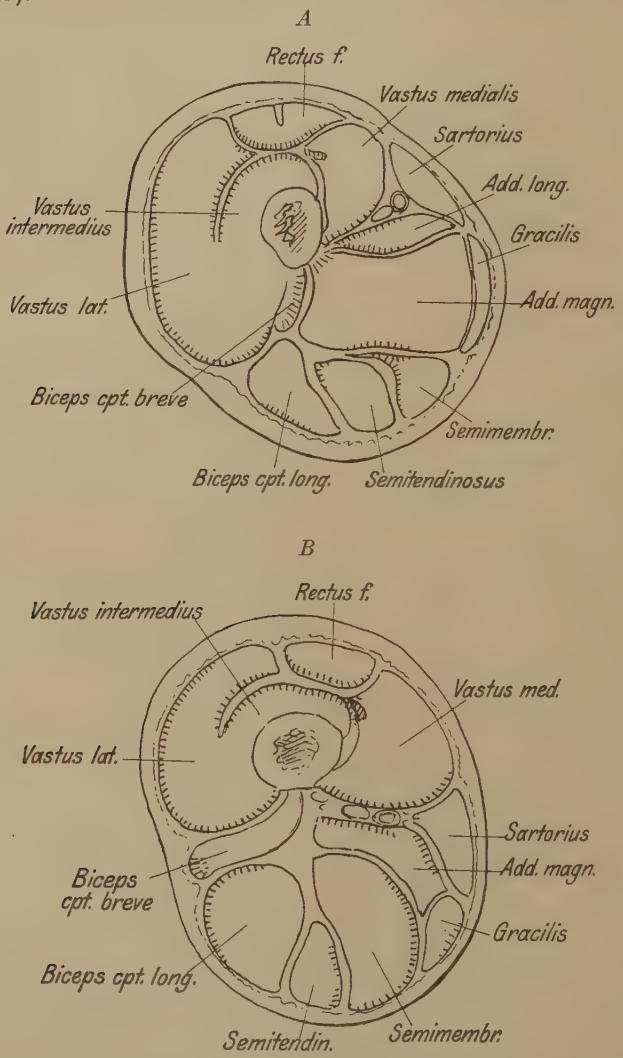


Fig. 12. Zwei Querschnitte durch den Oberschenkel. *A* oberhalb der Mitte, *B* durch den unteren Drittelpunkt. Die Sehnenblätter an der Oberfläche der Muskeln sind durch Schraffierung bezeichnet.

Die Ursprungsflächen für die Fleischfasern des M. quadriceps (Vorderseite des Femurschaftes, Ursprungssehnen des Vastus medialis, des Vastus lateralis und des Rectus femoris) bilden eine Art geschlitzten Kelches, der nach unten offen

ist und in welchen die Endsehne des Muskels von unten her hinaufragt. Die Fleischfasern ziehen von den Wänden des Kelches von hinten, von vorn und von den Seiten her schräg zur Endsehne. Letztere ist in der Mitte und im lateralen Teil in ein hinteres und in ein vorderes Blatt gespalten. Das vordere Blatt zerfällt wieder in einen schmalen Streifen für die Rectusfasern und einen breiteren, an welchem sich von der Seite und von vorn her die Fasern des Vastus lateralis anheften. Vom Femur her steigen die Fasern des Vastus intermedius nach vorn zum hinteren Blatt hinab, und an dessen medialen Rand heften sich, von hinten innen und vorn absteigend die Fasern des Vastus medialis an. Die Fleischmasse des Vastus intermedius schließt sich ohne scharfe Grenze an diejenige des Vastus lateralis, während sie von derjenigen des Vastus medialis am Ursprung durch die ganze Innenseite des Femurschaftes getrennt ist. Daß Vastus medialis und Vastus intermedius am Ursprung getrennt sind, hat seinen Grund darin, daß die Innenfläche des Femurschaftes, weil rückwärts gewendet, als Ursprungsfläche für die vorwärts absteigenden Fasern nicht benutzt werden kann. Dagegen lassen sich die beiden letztgenannten Muskeln am Übergang in die Sehne nicht trennen, während der Vastus lateralis mit seinem besonderen Endsehnenblatt vom Intermedius abgespalten ist.

In den Figg. 12 A und B sind zwei Querschnitte durch den Oberschenkel dargestellt, welche die geschilderten Beziehungen zwischen den Quadricepsköpfen illustrieren und deutlich zeigen, wie die zentral beieinander liegenden, gleichsam auseinander gespaltenen Endsehnen, von den Ursprungssehnen und der Muskelursprungsfläche am Femur umfaßt werden.

γ) III. Gruppe. Iliopsoas und Sartorius.

Sie treten von oben her in die Rinne, welche zwischen den Adduktoren und dem Quadriceps vorn vorhanden ist. Oben, wo diese beiden Muskelgruppen auseinanderweichen, wird der flache Grund und äußere Abhang der Rinne durch das Hüftgelenk und die innere Seite des Schenkelhalses gebildet. Weiter abwärts schließen sich die beiden Muskelgruppen direkt zusammen. Der Iliopsoas, von der Bauchhöhlenfläche des Darmbeins und der Wirbelsäule herkommend und über die Leistenincisur des Hüftbeins hinübertretend, verläuft vor dem Hüftgelenk vorbei zur tiefsten Stelle der Rinne und heftet sich an den Trochanter minor an.

Der Sartorius entspringt dicht an dessen Außenrand an der Spina o. i. a. s. Er trennt sich absteigend vom Iliopsoas und verläuft durch die ganze Länge der Rinne bis zur Innenseite des Condylus medialis femoris, wo er dicht hinten auf dem Epicondylus medialis liegt. Er überspringt, in die Endsehne übergehend, das Kniegelenk und heftet sich an die mediale Fläche der Tibia (Fig. 11).

δ) IV. Gruppe. Die tiefen äußeren und hinteren Muskeln der Hüfte.

Es handelt sich um den M. glutaeus minimus, den M. gemellus superior, den Obturator internus und den Gemellus inferior in tiefer Schicht und um den M. glutaeus medius und den Piriformis in oberflächlicher Schicht (siehe Fig. 13).

Diese Muskeln inserieren am oberen Rand und an der freistehenden Innenfläche des Trochanter major.

Der Obturator internus greift durch das Foramen ischiadicum minus, der Piriformis durch das Foramen ischiadicum majus in das Innere des Beckenrings hinein. Der Obturator internus geht mit seiner Endsehne um die Incisura ischiadica minor herum wie über eine Rolle zum Femur. Sein Ursprung und ausgebreiteter Muskelbauch liegen nach vorn abgebogen an der tiefen Fläche des Ischio-pubicum und der Membrana obturatoria.

Der M. piriformis zieht vom Femur durch das Foramen ischiadicum majus ohne Abbiegung zur Vorderfläche des Kreuzbeins, wo er zwischen und nach außen von den Foramina sacralia anteriora entspringt. Jenseits des Foramen ischiadicum majus deckt er den hinteren Teil des Glutaeus minimus, der vom unteren Randschenkel der Incisura major entspringt, während der vordere Hauptteil dieses Muskels ebenso wie der ganze Glutaeus medius seinen Ursprung an der äußeren Breitseite des Darmbeins nimmt. Die Gemelli begleiten den Außenteil der Obturator internus-Sehne und entspringen an den Rändern der Incisura ischiadica minor. So handelt es sich hier um Muskeln, welche von der dorsalen Facette des Basisfeldes der Extremität mit Inbegriff der Foramina ischiadica (doch nicht von der Tuberositas glutaea und der Außenseite des Kreuzbeins) herkommen.

ε) V. Gruppe. Die langen Kniegelenkbeuger am Oberschenkel.

Sie liegen mit dem N. ischiadicus und weiter unten mit den durch die Adduktoren zur Kniekehle durchgetretenen großen Gefäßen in der Rinne, welche nach hinten vom Femur zwischen den Adduktoren innen und den rückwärts vorquellenden Vasti außen offen bleibt, und füllen sie in der Mitte aus (Fig. 13). Unten, wo das Kniegelenk und die Kniegelenkwadenmuskeln nach hinten vortreten, weicht die Gruppe in zwei Teile auseinander, welche die genannten Wadenmuskeln zwischen sich fassen. Es handelt sich um vier Muskeln, einen kurzen eingelenkigen Muskel des Kniegelenkes, im lateralen Rand der Muskelkappe, welcher von dem Labium externum der Crista femoris und seiner unteren Fortsetzung bis nahe an den lateralen Condylus femoris hin entspringt, und um die drei zweigelenkige Muskeln zum lateralen und medialen Rand der Muskelkappe, welche an der rauhen Randfläche des Sitzhöckers ihren Ursprung nehmen.

Mit dem an der lateralen Seite der Kniekehle gelegenen eingelenkigen Muskel verbindet sich der lateralste der zweigelenkigen Muskeln zum M. biceps (kurzer und langer Kopf), dessen Sehne im lateralen Rand der Muskelkappe des Knies zum Fibulaköpfchen zieht. Die beiden anderen langen Muskeln, der Semimembranosus und der Semitendinosus bilden unten den medialen Zipfel der ganzen Gruppe und

gelangen medial von den Kniegelenkwadenmuskeln (Gastrocnemii) zur hinteren medialen Seite des Kniegelenkes und der Tibia, dicht hinten

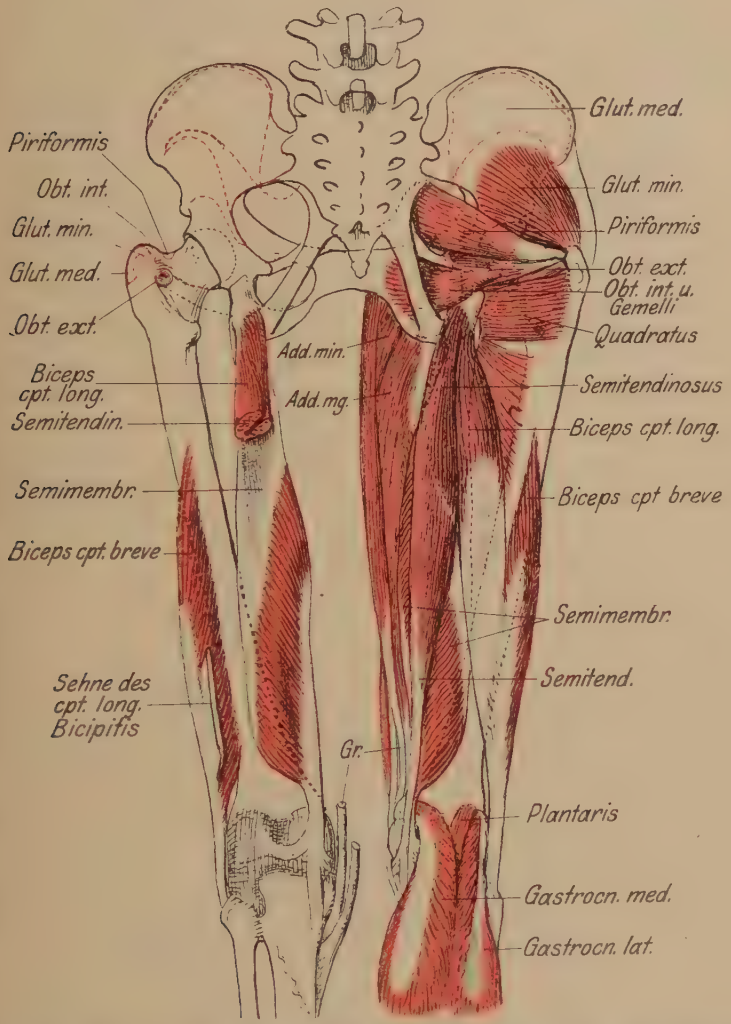


Fig. 13. Tiefe hintere und äußere Muskeln der Hüfte und lange hintere Muskeln am Oberschenkel, Ansicht von hinten.

(Rechts sind auch die Adductoren und die Wadenmuskeln dargestellt.)

am M. sartorius und gracilis. Sie bilden den medialen Randteil der von den Oberschenkel-Kniegelenkmuskeln formierten Muskelkappe am Kniegelenk.

ζ) VI. Gruppe. Die oberflächlichen äußeren und hinteren Muskeln der Hüfte.

(M. tensor fasciae latae und M. glutaeus maximus).

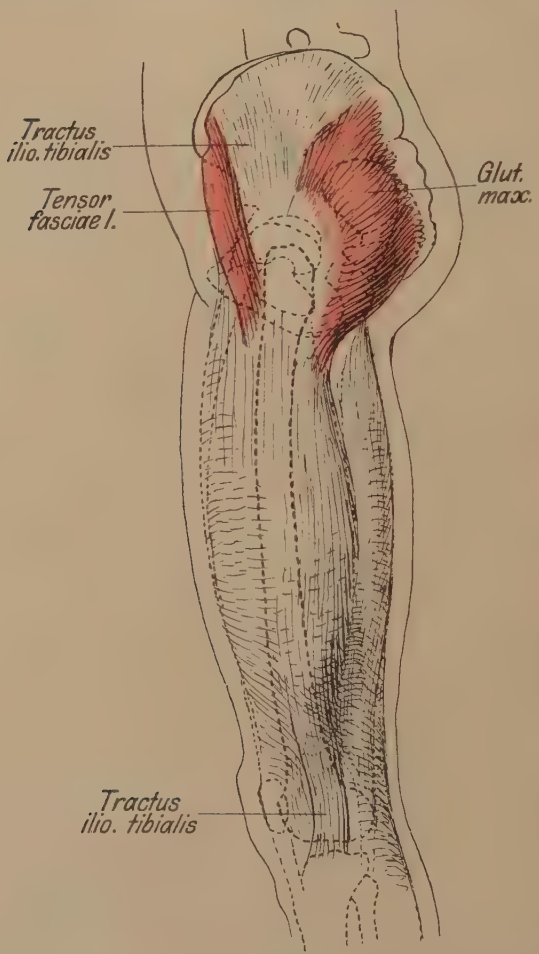


Fig. 14. Äußere oberflächliche Muskeln der Hüfte. Fascia lata.

Ersterer Muskel geht ganz, letzterer teilweise in die starke Faszie des Oberschenkels (Fascia lata) über. Beide entspringen peripher an der dorsalen Facette des Basisfeldes, der Tensor dicht unter dem vordersten Teil der Crista iliaca, der Glutaeus maximus unter dem hintersten Teil derselben an der Tuberositas glutaea des Darmbeins, am Außenrand des Kreuzbeins und Steißbeins und am Lig. tuberoso-sacrum (Fig. 14).

η) Das Basisfeld der Extremität.

Zur Basis der Extremität ist natürlich in erster Linie das Hüftbein zu rechnen mit seiner Gelenkpfanne, den beiden durch die Crista lateralis getrennten Außenfacetten, dem dorsalen Rand des Leistenbeins und dem Sitzhöcker. Es gehört aber zu dem Basisfeld der Extremität auch das in gleicher Flucht mit der dorsalen Außenfacette des Hüftbeins gelegene Areal des Foramen ischiadicum majus, durch welches der M. piriformis und große Gefäße und Nerven in die Extremität eintreten,

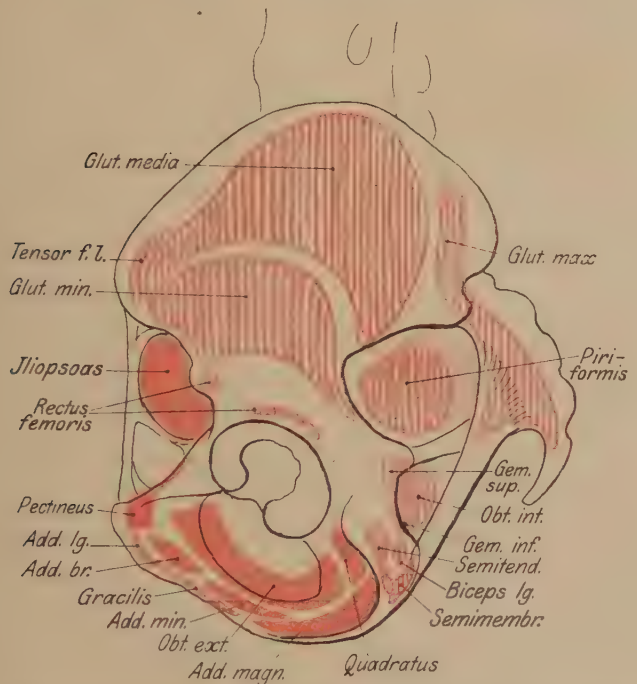


Fig. 15. Basisfeld der unteren Extremität. Muskelursprünge rings um das Hüftgelenk.

ferner das Areal des Foramen ischiadicum minus, durch welches der M. obturator internus hindurchtritt und gewisse Gefäße und Nerven (die nach kurzem Verlauf in der Basis der Extremität aus derselben wieder heraustreten), endlich der Außenrand des Kreuz- und Steißbeins und das Lig. tuberoso-sacrum, an welchem der Glutaeus maximus entspringt. Andererseits gehört zum Basisfeld der Extremität auch das Areal der Leistenlücke zwischen der Leisteninzisur und dem Poupartschen Band, indem durch diese Lücke der M. iliopsoas, die großen vorderen Schenkelgefäße und der Schenkelnerv in die Extremität eintreten.

Die Verhältnisse des Leistenbandes wurden schon im II. Band d. L. kurz erläutert. Die Muskulatur der weichen Bauchdecken heftet sich im allgemeinen unten an den kranialen Rand des Beckens an. Dies ist nicht möglich, wo der Iliopsoas mit dem Nervus femoralis über den Leisteneinschnitt des Hüftbeins zum Bein geht und einwärts davon, wo die Arteria und Vena femoralis, von Lymphgefäßen begleitet, zum Bein treten. Hier entspringen resp. enden die Muskeln der weichen Bauchwand in einem Sehnenbogen, der sich von der Spina o. i. a. s. zum Tuberculum pubicum hinüberspannt und zwischen Muscheln und Gefäßen, in der Faszie des Iliopsoas einen Pfeiler zum Hüftbeinrand sendet.

Dieser Sehnenbogen ist das Leistenband oder Poupartsche Band. Indem sich mit ihm die Fascia lata des Oberschenkels verbindet, können wir dasselbe als den eigentlichen Randteil des Basisfeldes betrachten. Über den Rand des Basisfeldes im engeren Sinn ziehen dann noch Hautnerven, Hautgefäße und die Haut selbst als gemeinsame Bedeckung vom Rumpf zur Extremität.

Das Basisfeld zerfällt in eine dorsale und in eine ventrale Abteilung.

Es sei hier zum Schluß noch einmal (vgl. II. Bd. S. 32) auf das Verhalten der Basis der Extremität zur Stammwand verwiesen.

Betrachtet man das Beckendiaphragma als Fortsetzung der Rumpfwandmuskulatur, so erscheint die Skelettwand des Beckens nur teilweise in die Rumpfwand eingeschaltet. Das Foramen ischiadicum majus liegt zwar ebenso wie das Lig. spinoso-sacrum in der Flucht der Stammwand. Das Lig. tuberoso-sacrum aber ist ebenso wie der Tuber ischii aus der Flucht der Stammwand herausgehoben, so daß das von den beiden Bändern und der Incisura ischiadica minor begrenzte Foramen ischiadicum minus eine Kommunikation zwischen zwei außen an der Stammwand gelegenen Regionen, der Regio glutaea und der Perineal- oder Interfemineal-region darstellt.

Am dorsalen Teil des Basisfeldes der Extremität nehmen die Muskeln der (II.) IV., V. und VI. Gruppe, soweit sie das Hüftgelenk überspringen, ihren Ursprung, während vom ventralen Teil die I. und die III. Gruppe (Adduktoren, sowie Iliopsoas und Sartorius) herkommen (Fig. 15).

ϑ) Bemerkungen über die Faszien im allgemeinen und über die Oberschenkelfaszie im besonderen.

Die Faszien sind flächenhaft ausgebreitete mehr oder weniger scharf abgegrenzte Verdichtungen des Bindegewebes in allen Abstufungen der Mächtigkeit und Festigkeit von zarteren Membranen bis zu starken, aus Sehnenfasern zusammengewobenen Blättern. Sie umschließen scheidenartig die Muskeln oder gehen blattartig über Muskeln und Sehnen hinüber, dringen zwischen ihnen und über ihre Enden hinweg bis zum Knochen vor, wo sie sich anheften, strahlen auch mancherorts in die Haut oder gegen festere ins Bindegewebe eingelagerte Teile aus. Ihnen verwandt sind die Verdichtungen und Scheiden des Bindegewebes, welche den Gefäßen entlang laufen. Die Faszien werden durch die Bewegungen der Skeletteile in den Gelenken, durch seitliche Verschiebung der Muskeln und Sehnen, durch die Verdickung der Muskeln bei der Kontraktion oder auch direkt durch den Zug der Muskeln, den sie über weitere Strecken fortleiten, gespannt. Auch äußeren Kräften und Widerständen liefern sie Angriffspunkte. So vermögen sie die Aktion der Muskeln und die

Bewegung in den Gelenken nicht unerheblich zu modifizieren. Selbst aber zeigen sie sich in ihrem Bau und Faserverlauf abhängig von den einwirkenden Kräften. Bei gelenk- und muskelmechanischen Untersuchungen dürfen sie nicht außer acht gelassen werden.

Die Faszien waren lange Zeit und sind z. T. heute noch eine unverstandene, anscheinend regellos variierende Mannigfaltigkeit, ein Objekt für gekünstelte Zergliederung und Schematisierung und für komplizierte Beschreibungen. Mit dem Augenblick aber, in dem man anfängt, sie nach ihrer mechanischen Funktion zu analysieren, hat die Willkür der Beschreibung ein Ende. Ihr Bau erscheint verständlich und einfach und von gemeinsamen Prinzipien bis in die Einzelheiten und individuellen Verschiedenheiten hinein beherrscht. Zum vollkommenen Verständnis gehört allerdings, daß man sie vom entwicklungsmechanischen Gesichtspunkt aus betrachtet und den Gang ihrer Entwicklung von frühen Stadien aus verfolgt. In dieser Hinsicht ist im einzelnen noch manches durch neue Untersuchungen klar zu stellen.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß überall da, wo in der Grundsubstanz eines embryonalen oder weiter entwickelten Stützgewebes kollagene Fibrillen auftreten, dies in Zusammenhang steht mit bestimmt gerichteter stärkerer Zugbeanspruchung, und in der Richtung des wirkenden Zuges geschieht. Es kommt hier in ganz besonders klarer Weise das Prinzip der funktionellen, dimensionalen Anpassung (W. Roux) zur Geltung. Um aber zu verstehen, wie in einer zusammenhängenden Grundlage von anfänglich gleichartiger Beschaffenheit, in welcher sich die Zugbeanspruchung von Stelle zu Stelle nur allmählich und stetig ändert, diskrete, voneinander getrennte Fibrillen oder Fibrillenzüge auftreten, muß in Berücksichtigung gezogen werden, daß die Fibrillenbildung ein lokalisiertes und lokalisierendes Geschehen darstellt, bei welchem das sich herausdifferenzierende Gebilde für einen bestimmten Bezirk die ganze Widerstandsleistung gegen den Zug an sich reißt. Durch die Fibrillenbildung in den Stellen und Linien günstiger Zugrichtung wird die Beanspruchung der Grundlage in den Zwischenräumen und in wenig abweichenden Richtungen vermindert oder gänzlich aufgehoben. So wird u. a. auch verständlich, daß in einer flächenhaft ausgebreiteten Grundlage, welche anfänglich in jeder ihrer Richtungen der dehnenden Einwirkung ausgesetzt ist, schließlich hauptsächlich zwei senkrecht zueinander stehende Fasersysteme zur Ausbildung kommen können usw.

Eine Übereinstimmung zwischen der Zugwirkung und der Bildung von Fibrillen, welche den Zugwiderstand übernehmen, macht sich nun nicht bloß hinsichtlich der Richtung, sondern innerhalb ziemlich weiter Grenzen auch in der Weise geltend, daß die Menge der Fibrillen der Größe der Zugbeanspruchung entspricht.

Die große Mächtigkeit der Faszien bestimmter Stellen des Körpers legt allerdings den Gedanken nahe, es möchte hier ein besonders reichliches embryonales Anlagematerial vorhanden gewesen sein, dessen Bildung mit den mechanischen Einwirkungen, welche die Faserrichtung bestimmen, nichts zu tun hat. Eine solche Annahme läßt sich einstweilen nicht unbedingt von der Hand weisen. Je genauer wir indessen die Mächtigkeitsverhältnisse der Faszien von der ersten Entwicklung an verfolgen, desto besser glauben wir zu erkennen, daß ein genügend reichliches Anlage- und Bildungsmaterial in dem embryonalen Bindegewebe, welches die Muskeln verbindet und umhüllt, so ziemlich überall gegeben ist, und daß die Mächtigkeit der Faszienfaserung wirklich der Inanspruchnahme dieses Anlagemateriales proportional ist.

Um die einzelnen Muskeln und um ganze Gruppen von Muskeln herum, welche sich gleichzeitig kontrahieren, spannt sich das umhüllende Bindegewebe der Quere nach. Diese Spannung ist besonders groß

wo die Muskeln breit der Skelettunterlage aufsitzen oder gar in Skelettrinnen eingelassen sind. Die gleiche Vergrößerung des Umfanges kommt dann einzig an der freien Seite zustande. Es werden diejenigen Linien des bedeckenden Gewebes, welche unmittelbar seitlich vom Muskel am Skelett einen Rückhalt finden, am meisten gespannt und es entwickelt sich hier eine viel stärkere Querfaserung als in einer rings um den freien Muskel herumgehenden Umhüllung. Schöne Beispiele hierfür sind die starke Entwicklung der Faszie auf den Mm. supraspinatus und infraspinatus der Schulter, sowie die starke Fascia lumbodorsalis an den Muskeln der Rückenrinne. An der Hüfte erklärt sich auf diese Weise die stärkere Ausbildung der Faszie des Iliopsoas, des Obturator internus, der Gemelli etc. Andererseits fehlt an den schrägfaserigen Muskeln die eigentliche Verdickung des Muskelbauches bei der Kontraktion.

Liegen Muskeln, die sich stets gleichzeitig miteinander verkürzen und verlängern, eng beisammen, so wird das trennende Bindegewebe nicht wesentlich durch gegenseitige Verschiebung der Muskeln angespannt. Soweit hier die trennenden Bindegewebsschichten nicht direkt von den Muskelfasern zum Ansatz und zu ihrer Verbindung mit dem Knochen benutzt werden oder als Tiefenpfeiler eine oberflächliche Faszie mit dem Skelett verbinden, bleiben sie verhältnismäßig locker und zart. In dem oberflächlichen Bindegewebe dagegen, welches den betreffenden Muskelkomplex umgibt und an benachbarten Skelettteilen einen Rückhalt hat, kommt es zur Bildung einer stärkeren gemeinsamen Faszie, welche durch die Kontraktion und Verdickung der unterliegenden Muskeln gespannt, gewöhnlich aber noch durch weitere, von außen herkommende Einflüsse in besonderen Richtungen in Anspruch genommen wird.

Für die schwache Entwicklung der Spezialfaszien im Inneren der Muskelgruppe ist von Bedeutung, daß die Muskeln unter Druck einander anliegen und sich, wenn überhaupt, dann unter stärkerem Druck aneinander verschieben. Wo sich Muskeln, Sehnen oder andere gefestigte Teile unter starkem Druck aneinander oder an irgend einer gefestigten Unterlage oder Umhüllung in größerer Ausdehnung verschieben, kommt es ja auch nicht zur Ausbildung einer zugfesten Verbindungsschicht, es lockert sich vielmehr die Verbindung bis zur Entstehung einer Trennungsspalte (Schleimbeutel, Sehnenscheidenspalten usw.).

Wohl verständlich ist nach dem Angeführten ein gewisser Unterschied im Verhalten der Faszie im Inneren der Gruppe der Adductoren und des Quadriceps femoris. Die Adduktoren kontrahieren sich durchaus nicht immer gleichzeitig alle miteinander; es ist dies z. B. nicht der Fall bei der Vor- und Rückführung des Beines, wie wir später zeigen werden. Die gemeinsame oberflächliche Faszie ist aus diesem Grunde nicht so stark entwickelt und zeigt nicht so deutliche Querfasern wie beim Quadriceps. (Sie besitzt aber Längs- und Schrägfasern, die sich bei der Abduktion zwischen dem Femur und dem Rande des Leistenbeins anspannen.) Andererseits sind die zwischen den einzelnen Muskeln der Gruppe liegenden Bindegewebsschichten mancherorts zu eigentlichen Faszienblättern verdichtet, und zwar so, daß mit der oberflächlichen Faszie und mit dem Skelett in der Tiefe ein engerer Zusammenhang besteht, entsprechend der gemeinsamen Längsanspannung bei der Abduktion des Beins. Am Quadriceps dagegen liegen

die verschiedenen Köpfe, die sich stets gemeinsam kontrahieren, unter einer stärkeren gemeinsamen Faszie und es sind die besonderen Hüllen der einzelnen Fleischbäuche relativ schwach entwickelt. Die aneinanderliegenden Endsehnen sind nur durch zartes Bindegewebe getrennt. Die gemeinsame Faszie des Quadriceps spannt sich über den Muskel weg nach innen zu den Endsehnen der Adduktoren, mit denen sie in einem nach der Rückfläche des Beines und in einem nach der Tiefe zum Knochen gehenden Blatt verschmilzt, außen aber heftet sie sich an den Außenrand des Planum popliteum und an die Linea aspera femoris. Indem ihre Anheftung beiderseits am Knochen bis zu den Epikondylen hinabreicht, hilft sie die sog. Ligamenta intermuscularia (mediale und laterale) bilden. Gegen die Innen- und Vorderseite des Knies hin wird sie verhältnismäßig locker und dünn. Sie verschmilzt mit der Endsehne des Quadriceps, der Kniescheibe und der Gelenkkapsel als ein Blatt, das hier wesentlich bei der Beugung des Knies und in seiner Längsrichtung gespannt wird. Über den mittleren und unteren Teilen des Quadriceps ist eine sehnige Querfaserung deutlich entwickelt. Ein Teil dieser Fasern setzt sich in die Querfaserung der oberflächlichen Faszie der Rückseite fort.

Abgeänderte Verhältnisse zeigt die den Quadriceps bedeckende Faszie oben, wo sich der Rectus femoris von den Vasti ablöst, und wo sie sich mit dem Tensor fasciae und mit dem Glutaeus maximus verbindet. Nach Maßgabe wie sich der M. rectus aus der Masse der Vasti heraushebt, umscheidet ihn die Faszie mehr und mehr, setzt sich aber auch unter ihm und einwärts davon, den Vasti folgend, bis zur Linea obliqua des Femur fort. Dem Rectus folgend erreicht sie den Sartorius und Außenrand des Iliopsoas und außen den Tensor fasciae latae, setzt sich in deren Eigenfaszien fort und bildet so starke Faszienpfeiler zur Hüftgelenkkapsel und zum Hüftbein, die weniger durch die Kontraktion der berührten Muskeln, als vielmehr bei der Streckung des Beines, seitlich auch bei der Adduktion, der Länge nach angespannt werden.

Bemerkenswert ist nun, daß der Teil der Faszie, welcher den Vastus lateralis bekleidet, oben an der Außenseite des Rectus erstens mit einem starken Blatt an der tiefen Seite des Tensor aufsteigt und sich mit dem Femurschaft am oberen Rande des Vastus verbindet, zweitens in die Sehne des Tensor fasciae und drittens in Form eines starken Blattes auch entlang der Oberfläche des Muskels fortsetzt. Weiter hinten geht die Faszie nach oben in die Sehne des Glutaeus maximus über und zwischen den beiden Muskeln erstreckt sie sich zum Darmbeinkamm, wobei ihr oberster Teil den Fleischfasern des Glutaeus medius zum Ursprung dient.

Die Faszien des Glutaeus medius und des Quadriceps setzen sich also gleichsam, statt sich am Trochanter major festzuheften, unter Abhebung von letzterem direkt ineinander fort. Vorn schließt sich dieser Streifen an den Tensor an; hinten geht er in die Sehne des Glutaeus maximus über. Sowohl der genannte Faserstreif als der anschließende, mit der Sehne des Glutaeus maximus verwobene Teil der Faszie ist vom Trochanter major abgehoben. Von einer ursprünglichen Verbindung mit dem Trochanter sind nur Spuren vorhanden. Zwischen dem Trochanter und obersten Teil des Vastus lateralis) einerseits, der daran vorbeiziehenden Faszie andererseits entwickelt sich infolge der gegenseitigen Verschiebung ein mächtiger, oft plurilokulärer Schleimbeutel. Durch die Zugeinwirkung resp. die Sehneneinstrahlung des Tensor und des Glutaeus maximus erhält der Außenteil der Faszie distal von diesen Muskeln eine Längsfaserung, welche sich bis zum Außenrand des oberen Endes der Tibia hinabzieht. Die hinteren Sehnenfasern vom Glutaeus maximus ziehen an der hinteren Peripherie des Vastus lateralis abwärts und setzen sich um so höher oben am Femur an, je weiter hinten sie aus dem Muskelfleisch des Glutaeus maximus hervorgehen.

Die Längsfaserung im Außenteil der Fascia lata entspricht also vor allem der Zugeinwirkung des Tensor und des Glutaeus maximus. Der Außenteil der Fascia lata wird aber auch in seiner ganzen Länge von der Außenseite des Knies bis hinauf zum Darmbeinkamm angespannt bei der Adduktion des Beins. Diese Inanspruchnahme verursacht einen weiteren Zuwachs von Längsfasern; der Faserstreif, der zwischen den Muskelbäuchen des Tensor und des Glutaeus maximus zum Darmbein hinaufzieht und sich abwärts bis zum Knie verfolgen

läßt (Ansatz namentlich auch an der Tuberositas tibiae), wird einzig auf diese Weise in Anspruch genommen. Er wird als Tractus ilio-tibialis (Maissiatscher Streifen) bezeichnet; auch die beiden Faszienblätter, welche den Tensor zwischen sich fassen, verdanken ihre Entstehung wesentlich der Anspannung bei der Adduktion.

An der Rückseite, an den Stellen, wo der Glutaeus medius dem minimus und wo der Glutaeus maximus den tiefen hinteren Hüftmuskeln eng und mit etwelcher Verschiebbarkeit aufliegt, fehlt, wie zu erwarten, eine ausgesprochene Faszie. Was aber die Gruppe der langen Kniegelenkbeuger am Oberschenkel betrifft, so ist das Bindegewebe, welches die Muskeln oben, unter dem Glutaeus maximus gemeinsam und unten, wo sie sich voneinander lösen, einzeln umgibt, nur unbedeutend verstärkt (etwas mehr an der Fleischleiste des kurzen Bicepskopfes). Dagegen ist gut entwickelt abwärts vom Glutaeus maximus ein über diese Muskeln gemeinsam hinüberbrückendes, innen an die Faszie der Adduktoren, außen an diejenige des Quadriceps geheftetes, weiter unten beiderseits mit den Ligg. intermuscularia verschmolzenes und durch alle diese Teile mit dem Femur verbundenes Faszienblatt. Unten überbrückt es die Kniekehle, deckt jederseits die Sehnen der Beugemuskeln und heftet sich seitlich an die Kapsel des Kniegelenkes. Es setzt sich kontinuierlich in die gemeinsame Faszie der Wadenmuskeln fort. In der Kniekehle wird dieses Blatt nicht mehr durch die Verdickung und Kontraktion der Muskeln angespannt, sondern nur durch das Bestreben der Sehnen, sich bei der Kniebeugung vom Skelett nach hinten abzuheben.

Dem abhebenden Einfluß der langen Kniegelenkbeuger entsprechend finden wir namentlich an der Kniekehle eine Querfaserung stark ausgebildet, welche zum größeren Teil an den Ligamenta intermuscularia und weiter abwärts gegen die Seitenbänder des Kniegelenkes in die Tiefe geht, z. T. aber in die Querfaserung der Faszie der Vorderseite, welche den Quadriceps deckt, sich fortsetzt. Dazu kommen Fasern, welche von den Ligg. intermuscularia aus schlingenförmig außen um den Biceps, innen um den Semimembranosus und Semitendinosus herumbiegen. Der Längsanspannung bei der Streckung des Knies entspricht eine Längsfaserung hinter den Epikondylen und Ligg. intermuscularia, sowie eine Längsfaserung unmittelbar nach vorn davon, welche durch die Beugung erzeugt wird. Über die Mitte der Kniekehle weg verlaufen dagegen schräge Fasern, namentlich solche, die von außen nach innen absteigen. In der Tat sind es solche schräge Fasern, die, weil sie in der Nähe am Skelett einen Rückhalt finden, im Verhältnis zu ihrer Länge bei der Streckung des Knies am meisten gedehnt und also am meisten gespannt werden.

Die hintere Oberschenkelfaszie, welche die Beugemuskeln überdeckt, schließt sich oben an die Faszie an, welche die freie Oberfläche des Glutaeus maximus bedeckt, und verstärkt den um den Rand des Muskels herumbiegenden, zum Tuber ischii und Lig. tuberososacrum hinziehenden Faszienpfeiler.

Die großen Fleischbündel des Glutaeus maximus verschieben sich namentlich in seiner hinteren Partie bei der Beugung und Streckung der Hüfte ausgiebig seitlich übereinander. Sie sind dementsprechend durch starke bindegewebige Lamellen voneinander getrennt. Mindestens ebenso stark muß die gemeinsame Bedeckung sein. Man findet dieselbe gegen die Endsehne hin immer deutlicher zu einer eigentlichen Faszie verstärkt, deren sehnige Fasern um den hinteren Rand des Muskels herumbiegen. Außen verschmilzt diese Faserung mit dem Endsehnenspiegel des Glutaeus maximus resp. verwebt sich mit der Fascia lata. Gesondert lassen sich ihre Fasern kaum bis zum Darmbeinkamm hin verfolgen. Trotzdem wird eine Art Faszienhalfter gebildet, welche bei der Extension im Hüftgelenk den sich verdickenden und verkürzenden und am Tuber ischii vorbei nach hinten drängenden Randwulst des Muskels zurückhält, einknickt und die wesentliche Ursache der hier auftretenden unteren Gesäßfurche ist. Z. T. strahlt die Faszienhalfter am Tuber ischii auch nach der Haut zu aus.

Es wäre noch beizufügen, daß die Faszienbedeckung des Glutaeus maximus z. T. in der Sitzhöckergegend in den zähen Bindegewebsfilz übergeht, welcher mit eingelagerten Fettläppchen das Sitzpolster bilden hilft.

Ferner beachtet man auch außen an der Faszienhalfter des Gesäßes und weiter abwärts an der Außen- und Hinterseite des Oberschenkels, am reichlichsten in der Trochantergegend, Ausstrahlungen der Faszie gegen die Haut, welche

namentlich in Gestalt von mehr oder weniger quergestellten Bürsten oder Leisten angeordnet sind und das Fettpolster in eigentümlicher Weise abteilen.

An der Vorderseite des Oberschenkels besteht zwischen den Adduktoren, den Vasti und dem Iliopsoas eine Rinne, welche sich oben in zwei Schenkel gabelt, welche den Iliopsoas zwischen sich fassen. Die Faszie der genannten Muskelgruppen überkleidet den Grund dieser Rinne und verbindet sich an ihren Rändern mit dem Skelett, auf der Höhe des Iliopsoas auch mit dem Leistenband. Der Sartorius hebt sich mit der begleitenden Faszie aus dem oberen äußeren Ausläufer der Rinne heraus und überbrückt ihn. Im Anschluß daran wird auch der übrige Teil der Muskelrinne an der Vorderseite des Oberschenkels von einem besonderen oberflächlichen Faszienblatt überbrückt, das dicht innen an die Faszie der Adduktoren, oben an diejenige des Iliopsoas und an das Leistenband anschließt und die großen Femoralgefäße etc. zudeckt. Der Musculus sartorius ist zwischen zwei Blätter dieser Decke von außen her in nach unten zunehmender Breite eingeschaltet; während er oben nur gesimsartig von außen her in sie einragt, nimmt er unten (als Decke des Hunterschen Kanales) die ganze Breite derselben ein. Dieses Blatt spannt sich namentlich der Quere nach bei der Auswärtsrotation des Oberschenkels und auch bei der Beugung und Abduktion, namentlich in den beiden Winkeln des Schenkeldreieckes, oben außen zwischen der Wölbung des Quadriceps (Sartorius) und dem Leistenband, unten zwischen ersterem und den Adduktoren. Die zum oberen Teil der Adduktoren ziehende Faserung, schon an sich schwächer, trennt sich an der durch die Faszie zur Tiefe dringenden Vena saphena major vom äußeren, stärkeren, zum Leistenband gehenden Teil. Es bildet sich ein sichelförmiger Rand, auf dessen unterem Schenkel die Vereinigung jener Vene mit der Vena femoralis reitet (Processus falciformis). Nur eine dünnere Fortsetzung breitet sich über die so gebildete Lücke aus, verwächst teilweise mit den Venen und wendet sich z. T. jenseits (innen) rascher nach rückwärts zum Pectineus. Es entsteht so ein eingesunkener ovaler Bezirk der Faszie (Fossa ovalis), begrenzt von jenem sichelförmigen Rand. Die Grube kann durch Fingerdruck vertieft werden; der dicke Randteil springt dann fast als Falte vor (Plica falciformis); erst wenn man das dünne, von kleineren Gebilden durchsetzte Blatt (Lamina cribrosa) wegpräpariert, entsteht ein Foramen ovale und ein Processus falciformis mit wirklichem freiem Rand.

Seitlich davon, in der Gegend unter dem Leistenband ist eine Aufblätterung der Faszie zur Umhüllung der hier reichlich vorhandenen oberflächlich gelegenen Gefäße und Lymphdrüsen besonders auffällig. Aber auch nach der Vorderseite des Knies hin ist eine Aufblätterung der Faszie und Abstrahlung gegen die Haut bemerkbar.

C. Stellungen und Bewegungen am Hüftgelenk.

a) Beurteilung und Definition der Stellungen des Femur im Hüftgelenk.

A. Fick hat (in seiner „medizinischen Physik") zwei verschiedene Methoden angegeben, um jede beliebige Lage eines arthrodisch bewegten Gliedes in Beziehung auf eine bestimmte Ausgangsstellung zu definieren. Es kann dies geschehen:

a) Durch Bestimmung der Winkelwerte der Drehungen, welche von einer bestimmten Stellung (Grundstellung) aus um drei bestimmte Achsen, in bestimmter Reihenfolge nacheinander ausgeführt werden müssen, um das Glied in jene zweite Lage zu bringen. Beim Hüftgelenk können z. B. die Achsen der beiden ersten Drehungen fest zum Rumpf genommen werden, die eine horizontal frontal, die

andere horizontal sagittal; als dritte Achse kann die Längslinie des Femur gewählt werden.

b) Durch Bestimmung der Richtung der quer zum Glied verlaufenden Achse, um welche das Glied gedreht werden muß, damit seine Längslinie aus der Anfangslage in die zweite Lage gelangt, und Angabe des betreffenden Drehungswinkels; durch Bestimmung ferner des Betrages an Längsrotation des Gliedes, der außerdem nötig ist, damit die zweite Stellung des Gliedes vollständig hergestellt wird.

Wir müssen aber eine bestimmte Stellung des Femur nicht erst durch Beziehung auf eine andere Stellung, sondern direkt mit Bezug auf das Becken zu charakterisieren suchen.

Zur Bestimmung der Lage eines starren Körpers von bekannter Konfiguration gegenüber einem bestimmten starren Raumsystem genügt die Bestimmung der Lage dreier Punkte, welche nicht in einer geraden Linie liegen, in diesem Raumsystem. Die ausgewählten drei Punkte nennen wir Bestimmungspunkte, die durch sie gelegte Ebene Bestimmungsebene. Die Stellung zweier starrer Körper zueinander ist charakterisiert durch die räumliche Beziehung ihrer Bestimmungsebenen oder Bestimmungspunkte zueinander.

1. Die Bestimmungsebenen des Beckens.

Die Bestimmungsebenen des Beckens müssen so gewählt werden, daß sie auch am Lebenden leicht aufzufinden sind. Es können dafür folgende Ebenen in Betracht kommen:

α) Die Interinguinalebene oder vordere Berührungsebene. Sie berührt vorn die vorderen Darmbeinstacheln und die Tubercula pubica und ist bei aufrechtem geradem Stande annähernd vertikal (frontal) gestellt (VT Fig. 16).

β) Die Ebene der Großbeckenweite (Interspinalebene), welche durch die vorderen oberen und die hinteren unteren Darmbeinstacheln geht. Sie verläuft beim aufrechten Stand annähernd horizontal (Jsp. Fig. 16).

γ) Die Ebene der Cristae laterales durch die vorderen oberen Darmbeinstacheln und die von ihnen am weitesten entfernten Punkte der Sitzhöcker; sie schneidet die Außenseite des Beins in der sog. Roser-Nélatonschen Linie und entspricht ungefähr einer Längsebene des kleinen Beckens (axilaterale Längsebene), steigt beim aufrechten Stande schräg nach vorn auf und trifft ungefähr die Hüftgelenkmitten (BL Fig. 16).

δ) Die Ebene des oberen Kleinbeckenrandes (BE Fig. 16). Sie geht durch den oberen Rand der Symphyse und durch die oberen hinteren Darmbeinstacheln; sie trifft ferner ungefähr die Grenze zwischen dem 1. und 2. Kreuzbeinwirbelkörper, die obersten Foramina sacralia und den Dorn des ersten Kreuzbeinwirbels, ferner die Mitte der Articulatio sacroiliaca, geht aber oberhalb der Hüftgelenkpfannen vorbei, während sie andererseits gewöhnlich nach unten vom Promontorium gelegen ist. (R. Fick empfiehlt, diese Ebene als Hauptebene zur Bestimmung der Beckenneigung zu benutzen.)

ε) Als Bestimmungsebene der Beckenweite könnte natürlich auch die Medianebene dienen. Doch ist es schwer in der Mittellinie der Beckenoberfläche beim Lebenden drei gut markierte und weit auseinander liegende Punkte zu finden.

Von diesen Ebenen eignen sich, um darauf die Stellung des Femur zu beziehen, am besten diejenigen, welche durch beide Hüftgelenkmitten gehen. Den Vorzug vor allen anderen genannten Ebenen verdient

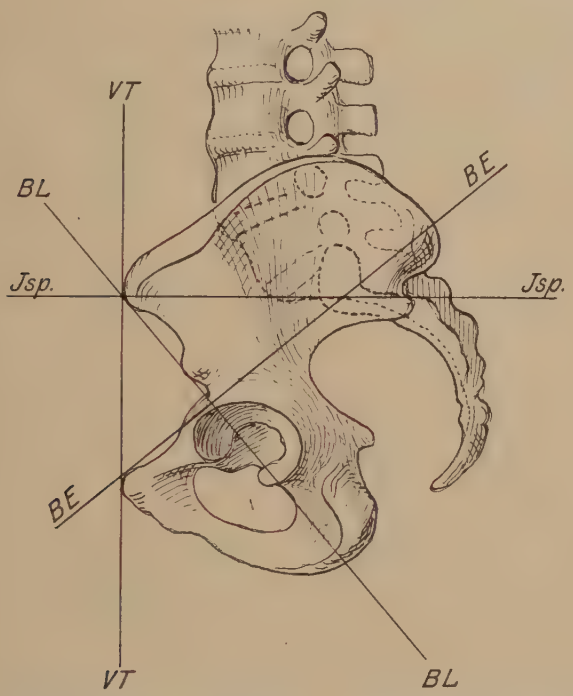


Fig. 16. Bestimmungsebenen des Beckens. *VT* Vordere Tangentenebene, *BL* Bilaterale Längsebene, *Jsp.* Interspinalebene, *B E* Beckeneingangsebene.

meiner Ansicht nach die unter γ genannte Ebene der Cristae laterales resp. der Roser-Nélatonschen Linien.

Sie geht durch die Hüftgelenkmitten und enthält gut auffindbare Orientierungspunkte. Die vorderen oberen Darmbeinstacheln sind am Lebenden leicht genau abzutasten, die vorderen unteren Enden der Sitzhöcker aber zum mindesten ebensogut als der obere Symphysenrand, die Tubercula pubica oder einer der hinteren Darmbeinstacheln. Die genannte Ebene ist annähernd eine bilaterale Längsebene des kleinen Beckens

2. Bestimmungspunkte und Bestimmungsebene des Femur.

Als ersten Bestimmungspunkt des Femur wählen wir den Mittelpunkt des Oberschenkelkopfes, dessen Lage gegenüber dem Becken von vornherein bekannt ist, als zweiten die Mitte des Kniegelenkendes (der Verbindungslinie der Epikondylen). Durch diese zwei Punkte ist die Lage und Richtung der Längslinie des Femur gegenüber dem Becken bestimmt. Als dritten Punkt am Femur wählen wir einen der beiden Epikondylenpunkte; seine Lage ist gegeben, wenn die vorher genannten Bestimmungen getroffen sind, durch Bestimmung der Richtung der Verbindungslinie der Epikondylen. In praxi wird man die Lage der beiden Epikondylen und damit den Ort und die Richtung der Epikondylenlinie bestimmen. Die Mitte der Epikondylenlinie (Kniepunkt) ist damit gegeben. Eine durch die Längsachse und die Epikondylen verlaufende Längsebene des Femur enthält die drei Bestimmungspunkte (epikondyläre Längsebene). Sie kann als Bestimmungsebene des Femur bezeichnet werden.

Durch die Femurlängslinie und die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Hüftgelenke läßt sich stets eine Ebene legen. Kennt man den Winkel, den in dieser Ebene die beiden genannten Linien miteinander bilden und ferner den Flächenwinkel, den diese Ebene einerseits mit der Bestimmungsebene des Beckens, andererseits mit derjenigen des Femur bildet, so ist die Lage der beiden starren Raumsysteme zueinander völlig ausreichend charakterisiert.

3. Graphische Darstellung der Femurstellung. Exkursionskugelfläche mit Gradeinteilung. Skelettphantom.

Um die Mitte des Hüftgelenkes sei eine Kugelfläche gelegt, welche die Epikondylen schneidet, und in welcher sich die letzteren bei der Bewegung im Hüftgelenk verschieben. Wir nennen sie die Exkursionskugelfläche und denken sie uns mit einer Gradeinteilung versehen, ähnlich derjenigen eines Erdglobus. Diese Gradeinteilung stehe fest zum Becken. Als Polachse wählen wir die gerade Verbindungslinie der beiden Hüftgelenkmitten (gemeinsame Hüftgelenkachse). Alle Parallelkreise sowie der Äquator verlaufen also in Sagittalebenen. Alle Meridianebenen gehen durch die gemeinsame Hüftgelenkachse.

Die Parallelkreise P numerieren wir vom Äquator aus, die inneren erhalten das positive, die äußeren das negative Vorzeichen. Die Meridiankreise M numerieren wir von einem bestimmten O-Meridian aus, als welchen wir am besten den unteren mit der Ebene der Cristae lateralis zusammenfallenden Meridianbogen wählen (in Abweichung von dem Verfahren von Straßer und Gaßmann, s. u.).

Für irgend eine Stellung des Femur können wir nun den Ort, in welchem die Längslinie des Femur die Exkursionskugel schneidet, bestimmen durch Angabe seines Meridianes und seines Parallelkreises. Die betreffende Meridianebene stellt die Verbindungsebene zwischen der Femurlängslinie und der gemeinsamen Hüftgelenkachse (Polachse) dar. Die Nummer des Parallelkreises gibt den Winkel, den die Femurlängslinie in dieser Ebene mit der Äquatorialebene bildet (Neigungswinkel zwischen Femurlängslinie und Sagittalebene) oder das Komplement des Winkels, den die Verbindungslinie der Hüftgelenkmitten und die Femurlängslinie außen miteinander bilden. Die Meridiannummer gibt den Flächenwinkel zwischen jener Verbindungsder Meridianebene und der Bestimmungsebene des Beckens. Die Epikondylenlinie bildet eine Tangente zum Ort der Femurlängslinie auf der Exkursionskugelfläche. Der Winkel R, den sie mit dem betr. Meridian bildet, gibt den Flächenwinkel zwischen diesem Meridian und der Bestimmungsebene des Femur, und zwar soll dieser Winkel das positive Vorzeichen erhalten, wenn es sich um eine Stellung handelt, welche durch Einwärtsrotation des Femur von der Stellung aus entstanden ist, bei welcher die Epikondylenlinie in die Meridianebene fällt, das negative Vorzeichen bei einer Ablenkung, welche durch Auswärtsrotation entstanden ist.

Damit ist nach dem früheren die Stellung des Femur zum Becken vollkommen bestimmt. Wir haben uns nun noch dahin zu verständigen, daß wir die Stellungen, bei welchen die Femurlängslinien durch äußere Parallelkreise gehen, als Abduktionsstellungen, die Stellungen aber, in denen sie durch innere Parallelkreise gehen, als Adduktionsstellungen bezeichnen wollen. Im ersten Fall bezeichnet die Nummer des Parallelkreises den „Abduktionswinkel", im letzteren Fall den „Adduktionswinkel". Die Stellungen, bei welchen die Epikondylenlinie vom Meridian der Längslinie abweicht, bezeichnen wir je nach dem Sinn der Ablenkung als „Einwärts- oder als Auswärtsrotationsstellungen".

Der Ort des Kniepunktes im Gradnetz der Exkursionskugel und die Richtung der Epikondylenlinie läßt sich in einen Globus oder in eine Globuskarte eintragen. So können eine Menge von Femurstellungen globographisch oder kartographisch registriert werden.

Das hier empfohlene Prinzip der Stellungsdefinition entspricht der Art und Weise, nach welcher Ort und Stellung eines aufrecht stehenden Menschen auf der Erdoberfläche bestimmt wird. Man muß nur berücksichtigen, daß die vertikale Längsachse der Person stets durch den Erdmittelpunkt geht; neben der Angabe der geographischen Breite und Länge (Parallelkreis und Meridian) des Standortes gehört zur vollständigen Charakterisierung der Stellung auch noch die Angabe der Himmelsgegend, nach welcher die Mittelebene des Körpers (mittlere Blickrichtung) gerichtet ist resp. des Winkels, den die Blickrichtung mit der Meridianebene bildet.

In dieser Weise sind Straßer und Gaßmann bei der Definition der Stellungen des Femur zum Becken verfahren. Nur haben sie als

O-Meridian den untersten Meridian der Exkursionskugel beim aufrechten Stand gewählt.

Ich habe die globographische Registrierung der Stellungen und Bewegungen im Kugelgelenk zuerst 1881 (Deutsche Zeitschrift für Chirurgie) empfohlen. Durch R. Fick erfahren wir, daß bereits in den Jahren 1876 und 1877 Albert den Umfang des Verkehrsgebietes des Hüftgelenkes in ein Gradnetz einzeichnete; den einen Pol der Gradteilung wählte Albert ungefähr ventral, den anderen dorsal.

Warum die Pole des Gradnetzes beim Hüftgelenk nicht vorn und hinten, aber auch nicht oben und unten genommen werden dürfen, wurde von mir seinerzeit mit guten Gründen auseinandergesetzt. R. Fick empfiehlt trotzdem neuerdings die vertikale Polachse (Handb. II. Teil, S. 180 und III. Teil, S. 470). Damit hat er sicher nur eine Verschlimmerung unseres Verfahrens zuwege gebracht; denn dabei fällt der untere Pol mit den eigentümlichen Verhältnissen der polaren Gradlinien in das Innere des Verkehrsgebietes des Femur, was für die Bestimmung seiner Stellungen und Stellungsänderungen entschieden nicht günstig ist.

Auch muß R. Fick, wenn er eine Übereinstimmung zwischen den Bezeichnungen für die Lage und für die Lageveränderung aufrecht erhalten will, was doch wünschenswert ist, zwischen den Bewegungen in den vertikalen Meridianen und in den horizontalen Parallelkreisen unterscheiden. Letztere werden von ihm als „Abduktionen" und „Adduktionen" bezeichnet; sie sind aber etwas wesentlich anderes als eine direkte und kürzeste Annäherung an die Mittelebene, nämlich eine Herumführung des Knies im Horizontalkreis. In der Grundstellung wird die Adduktion R. Ficks tatsächlich zur reinen Einwärtsrotation und die Abduktion zur reinen Auswärtsrotation. Was man aber sonst allgemein in der Grundstellung als Abduktion bezeichnet, ist nach R. Fick, so oft er es genau nimmt, nur „sogenannte Abduktion". Das Angedeutete genügt wohl um zu zeigen, wie unglücklich die Wahl einer vertikalen Polachse ist.

4. Bestimmung beim Lebenden.

Die Bestimmung der Stellung des Femur im Hüftgelenk beim Lebenden gestaltet sich nach den angegebenen Normen sehr einfach. Man betrachtet zunächst den Körper genau von der Seite her. Dabei projiziert sich der Oberschenkel auf die Mittelebene des Körpers. Der Winkel, den diese Projektion mit der als Linie erscheinenden Bestimmungsebene des Beckens bildet, kann leicht geschätzt werden. Daraus ergibt sich die Nummer des Meridians (Flexions-Extensionsstellung). Ziemlich genau läßt sich auch der Winkel zwischen der Femurlängslinie und der Verbindungslinie der Hüftgelenkmitten (Polachse) feststellen. Das Komplement dieses Winkels gibt die Nummer des Parallelkreises (den Ab- oder Adduktionswinkel). Die Längsrotation würde = 0 sein, wenn die Epikondylenlinie die gemeinsame Hüftgelenkachse in endlicher oder unendlicher Entfernung trifft. Beim Visieren vom Knie her gegen das Gelenk und die Verbindungslinie der Hüftgelenkmitten läßt sich der Winkelwert der Einwärts- oder Auswärtsrotation annähernd schätzen.

Für die gewöhnlichen Bedürfnisse, z. B. der Klinik, wird die Bestimmung der Femurstellung sehr erleichtert durch einen von mir konstruierten Apparat (Skelettphantom, Fig. 17), der erlaubt, irgend eine Stellung des Beins zum Becken nachzuahmen und dann mit Hilfe eines Rahmenwerkes genau nach den aufgestellten Normen zu definieren.

Ein knöchernes Becken ist der Stellung beim geraden aufrechten Stand entsprechend an einem Stativ über einem Brett befestigt. An der einen Seite ist das entsprechende Oberschenkelbein so in die Pfanne eingefügt und durch künstliche Weiterführung des Pfannenrandes festgehalten, daß es sich, ohne herauszufallen, entsprechend den natürlichen Verhältnissen in derselben drehen kann. Der Schenkelhals ist durch einen Metallstift ersetzt, um die normale Exkursionsmöglichkeit zu gewinnen. Die Epikondylenlinie ist durch einen in den Knochen eingefügten Eisenstift markiert und ebenso durch einen aus dem Kniegelenkende vorragenden Stift die Längslinie des Femur. Ein halbkreisförmiger Rahmen, dessen innerer Radius etwa dem Abstand der Mitte dieses Stiftes vom Hüftgelenkmittelpunkt entspricht, ist an zwei seitlichen Pfosten so befestigt, daß der die beiden Enden verbindende Kreisdurchmesser mit der Verbindungslinie der beiden Hüftgelenke, der Mittelpunkt der Rahmenkrümmung aber mit dem Gelenkmittelpunkt zusammenfällt, und daß der Rahmen sich um jenen Durchmesser als Achse drehen kann; er ist mit einer Gradeinteilung versehen, die von der Mitte aus nach

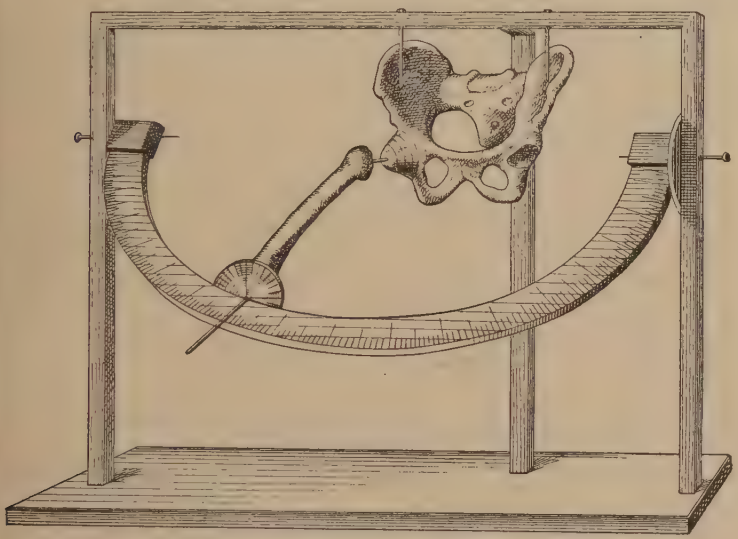


Fig. 17. Aus „Anatomische Hefte“ 1893.

beiden Enden hin numeriert ist. Bringt man für eine bestimmte Stellung des Femur diesen Rahmen von unten resp. hinten her durch Drehung bis an den Längsstift des Femur, so läßt sich der Betrag des Neigungswinkels der Femurlängslinie gegenüber der Mittelebene (Winkelbetrag der Ab- oder Adduktionsstellung — Nummer des zugehörigen Ab- oder Adduktionskreises) direkt ablesen.

An dem einen Ende des Rahmens ist in Verbindung mit der seitlichen Säule, senkrecht zur Drehungsachse des Rahmens und mit ihrem Zentrum in dieselbe fallend, eine Scheibe mit Gradteilung angebracht. Der Nullpunkt der Teilung liegt in der Bestimmungsebene des Beckens. Ein am Rahmen befestigter Zeiger markiert auf der Teilung den Winkelabstand des Meridianrahmens von der Ausgangsebene. So läßt sich die Nummer des Meridians bestimmen, welche der zu bestimmenden Stellung der Femurlängslinie entspricht.

Leicht ist irgend eine Vorrichtung anzubringen, welche auch noch den Betrag der Ein- oder Auswärtsrotation (Abweichung der Epikondylenlinie aus der Meridianebene) zu messen erlaubt (Kreisscheibe mit Gradteilung am Längsstift des Femur).

β) Bestimmung und Registrierung der Stellungsänderungen des Femur.

1. Definitionen.

Es ist eigentlich unnötig zu sagen, daß der Gang irgend einer noch so komplizierten Bewegung des Femur im Hüftgelenk genügend genau bestimmt und anschaulich gemacht werden kann, indem man die einzelnen aufeinanderfolgenden Stellungen in der angegebenen Weise kartographisch bestimmt und registriert; und zwar geschieht dies um so genauer, je kleiner die zeitlichen Abstände zwischen den berücksichtigten aufeinanderfolgenden Stellungen und je zahlreicher die letzteren sind. Wählt man die zeitlichen Abstände gleich groß, so erhält man zugleich ein annähernd zutreffendes Bild von der Geschwindigkeitsänderung der Bewegung.

Die reine Drehung parallel dem jeweiligen Meridian bezeichnen wir als Abduktion resp. Adduktion.

Die bloße Bewegung im jeweiligen Parallelkreis ohne Änderung der Stellung zum Meridian ist eine Drehung um die Polachse und kann als circumpolare Flexion resp. -Extension bezeichnet werden. Die Circumpolarflexion setzt sich zusammen aus ihrem Anteil an einer Circumzentralflexion und aus einem Anteil Längsrotation. Die Drehung um die jeweilige Längsachse, durch welche die Stellung gegenüber dem jeweiligen Meridian- und Parallelkreis verändert wird, ist als Längsrotation nach innen oder außen zu bezeichnen.

Die Längsrotation gegenüber dem Meridian müssen wir genau genommen als relative Längsrotation bezeichnen. Der Gesamtbetrag der wirklichen Drehung um die Längsachse ist gleich der relativen Längsrotation plus der in der Circumpolarflexion enthaltenen Längsrotation. Mit der einen Drehung ändern die Achsen der anderen Drehungen ihre Lage und Richtung. Es ist aber gleichgültig, in welcher Reihenfolge solche Drehungen ausgeführt werden. Wenn nur der Gesamtbetrag der Drehung in jeder der drei Kategorien derselbe ist, so wird die gleiche Endstellung erreicht, welches auch die Reihenfolge der Drehungen ist.

Schon Henke (Handb. d. Anatomie u. Mechanik d. Gelenke, 1863) hat die Bewegungen im Hüftgelenk nach der hier angegebenen Weise zerlegt in die Drehung um die Längsachse, um die Verbindungslinie der Hüftgelenkmitten und um eine zum Femur senkrecht stehende senkrechte Achse; wir vermissen aber bei ihm den Hinweis darauf, daß eine solche Zerlegung nicht streng rechtwinklig ist.

2. Bewegungsmöglichkeiten (Bewegungsumfang) im Hüftgelenk.

a) Am Bänderpräparat.

In dem von Straßer und Gaßmann untersuchten Fall (Bänderpräparat) war die Mittelstellung im Hüftgelenk, von welcher aus gleich

viel Flexion und Extension, Ab- und Adduktion, Einwärts- und Auswärtsrotation möglich war, gegeben bei M 91, P—10 und R ca. = 0, unter der Voraussetzung, daß der O-Meridian durch die Mitte des Tuber ischii gelegt wurde (Fig. 18 m). Aus dieser Mittelstellung konnte das Femur im Abduktionskreis 10° bis zum Meridian 20 extendiert und bis zum Meridian 162 flektiert werden. Die ganze Circumpolarflexion, die hier annähernd reine Flexion war, betrug also 142°. Die Mittelstellung

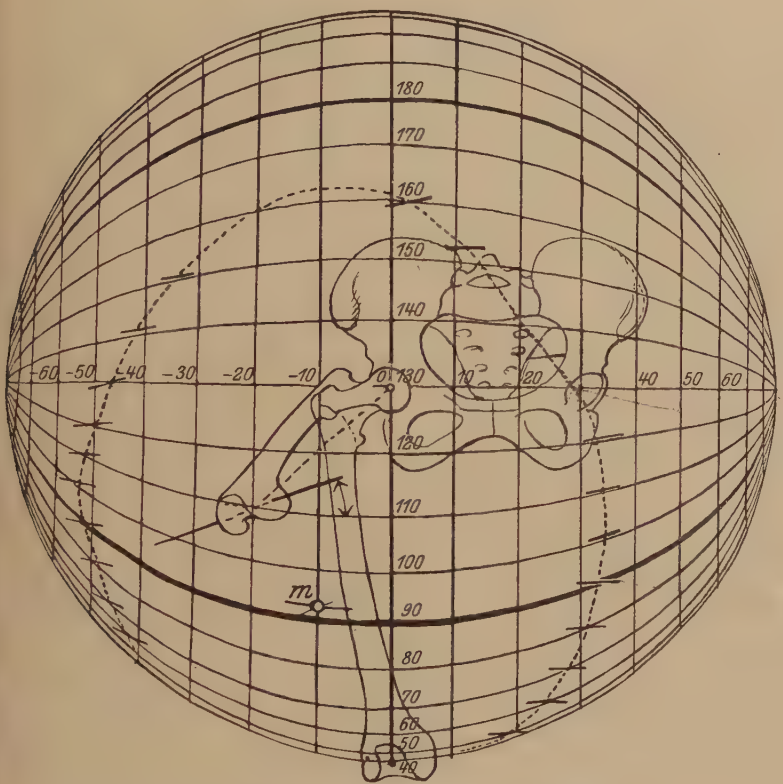


Fig. 18. Exkursionsgebiet des Femur im Hüftgelenk.

entsprach ungefähr einer Meridionalebene, welche zur Ebene der Cristae laterales (Roser-Nélatonschen Linien) senkrecht stand und der oberen Randebene des kleinen Beckens fast parallel verlief. (Bei einer Aufstellung des Beckens, bei welcher die vordere Berührungsebene frontal vertikal steht, und die Ebene der Cristae laterales mit der Horizontalebene vorn einen Winkel von 50° bildet [aus der Vertikalebene um 40° nach vorn geneigt ist], entspricht Meridian 40 dem untersten, Meridian 130 dem vordersten Meridian.)

Die Brüder Weber bestimmten die Gesamtexkursionen von der extremen Streck- zur extremen Beugestellung auf 139°, Braune gibt 135° an.

Nicht so groß ist die maximale Ab-Adduktionsmöglichkeit. In dem Fall von Straßer und Gaßmann betrug sie 88° vom Abduktionskreis 54, bis zum Adduktionskreis 34; im horizontalen Meridian (130) war die Exkursion geringer, nämlich 74° (vom Abduktionskreis 46 bis zum Adduktionskreis 28).

Die Brüder Weber fanden eine größte Horizontalexkursion von 80°.

Neuerdings sind die Bewegungsmöglichkeiten im Hüftgelenk durch P. Roschdestwenski und R. Fick (1913) an vier verschiedenen Präparaten genauer untersucht und in zahlreichen Tabellen sowie kartographisch dargestellt worden. Leider wurde dabei die unzweckmäßige vertikale Stellung der Polachse des Exkursionsglobus beibehalten. Ich habe nun in den kartographischen Darstellungen für das Präparat A (Fig. 2—5 der Abhandlung der genannten Autoren) mein Gradnetz, dem die bilaterale horizontale Polachse zugrunde gelegt ist, eingezeichnet (Unsere Fig. 19 I bis IV), so daß nun die Figuren mit unserer Fig. 18 verglichen werden können. Die äußerste der drei Kurven gibt jeweils die Femurgrenzlagen für das Bänderpräparat. Die Meridiane unserer Bestimmung sind durch entsprechende Zahlen bezeichnet.

Die Befunde stimmen ziemlich gut mit der Beobachtung von Straßer und Gaßmann überein und weichen auch an den übrigen von Roschdestwenski und Fick untersuchten Präparaten nicht erheblich davon ab. Auf die Bedeutung der zwei anderen, engeren Kurven der Abbildungen 19 I bis IV werde ich später eingehen.

Die in mittleren Stellungen der Längslinie mögliche Längsrotation wurde von Straßer und Gaßmann nicht genau bestimmt, betrug aber mindestens 50° in Mittelstellung (nach A. E. Fick 49°, nach Weber 50°, ebenso nach Krause, nach Braune 40—60°, nach Henke 90°, nach R. Fick im Maximum wohl gegen 90°). In den Grenzlagen des Kniepunktes ist sie natürlich eingeschränkt, ja unmöglich; es entspricht dann jeder Grenzlage der Femurlängslinie eine bestimmte Rotationsstellung. Die entsprechenden Richtungen der Epikondylenlinie sind von Gaßmann bestimmt worden (s. Fig. 18); es ergibt sich, daß in mittleren Beugestellungen die extreme Abduktion mit Auswärtsrotation, die extreme Adduktion mit Einwärtsrotation verbunden ist, Auswärtsrotation ist aber auch vorhanden bei den höheren Graden der Flexion und der Extension. Diese Besonderheiten hängen mit dem Verhalten der Gelenkbänder, besonders des Lig. iliofemorale zusammen (s. S. 104 u. ff.).

Aus den Figg. 18 und 19 läßt sich ferner ersehen (was eigentlich selbstverständlich ist, wenn man an das Verhalten der Kapsel denkt, welche in der Mittelstellung am gleichmäßigsten erschlafft sein, bei der Entfernung aus der Mittellage dagegen sich in bestimmten Linien anspannen muß), daß die mögliche Circumpolarexkursion um so geringer ist, je größer die Ab- oder Adduktion, und die Ab-Adduktion um so geringer, je größer die Flexion oder Extension.

Endlich läßt sich erwarten, daß aus mittleren Stellungen der Längslinie bei extremer Einwärts- oder Auswärtsrotationsstellung sowohl die

Flexion und Extension, als auch die Ab- und Adduktion beschränkt sein muß, wenn auch durchaus nicht jeweilen genau im gleichen Umfang.

H. v. Meyer (1873) hat den Einfluß der Ab- und Adduktion, sowie der Längsrotationen auf die Grenzen der Streckung genauer untersucht und aus dem Verhalten der Kapselbänder, speziell des Lig. iliofemorale erklärt. Bei seinen Versuchen blieben die Oberschenkelknochen mit ihren Längslinien in der gleichen Vertikalebene durch die gemeinsame Hüftgelenksachse und wurden in derselben bald parallel vertikal, bald abwärts konvergierend (Adduktion), bald abwärts divergierend oder gespreizt (Abduktion), bei wechselnder Längsrotation festgestellt. An dem Becken aber wurde die mögliche Rückdrehung über die gemeinsame Hüftgelenksachse (nach unserer Bezeichnungsweise also die Extension im Hüftgelenk) gemessen. Es ist klar, daß die hier in Frage kommende Ab- und Adduktion, sowie die Auswärts-Einwärtsrotation vollkommen den von uns, nicht aber den von R. Fick, in gleicher Weise bezeichneten Stellungsänderungen entspricht.

Nach H. v. Meyer konnte nun die Rückdrehung des Beckens am weitesten, bis zu 48,5° Neigung (nach unserer Bezeichnungsweise umgerechnet) ausgeführt werden bei einer Mittelstellung von 5° Abduktion und 0° Auswärtsrotation.

Bei 30° Abduktion und 20° Einwärtsrotation war die Streckung im Hüftgelenk um 40°, bei 35° Abduktion und 20° Einwärtsrotation war sie um 59° vermindert.

Bei 30° Abduktion dagegen und 30° Auswärtsrotation war die Streckung um 18° geringer als bei jener Mittelstellung, bei 35° Abduktion und 35° Auswärtsrotation um 29° und bei 35° Abduktion und 35° Auswärtsrotation um 33°. Stärkere Einwärtsrotationen zeigten sich nur bei Abduktion oder in Mittelstellungen möglich (25° Einwärtsrotation nur bei nicht mehr als 5° Abduktion); größere Auswärtsrotationen waren nur bei stärker abduziertem Bein ausführbar.

Das letzte Resultat ist eigentlich das einzig unerwartete. Je größer die Abduktion, desto größere Auswärtsrotation ist (natürlich innerhalb gewisser Grenzen) möglich; durch die Abduktion kommt also gewissermaßen ein Hemmnis der Auswärtsrotation in Wegfall. Andererseits wird bei stärkerer Auswärtsrotation die Möglichkeit der Adduktion zur Mittelstellung beschränkt.

b) Am Lebenden.

Alle vorstehenden Angaben über den Bewegungsumfang des Hüftgelenkes beziehen sich auf das frische Präparat. Am Lebenden ist der Bewegungsumfang im allgemeinen geringer, aber je nach Umständen verschieden groß, und zwar zeigt er sich

1. beim gleichen Individuum, namentlich was die Beugung und Streckung betrifft, sehr verschieden groß, je nach der Stellung des Kniegelenkes. Bei gestrecktem Knie ist die Beugung (angeblich rel. wenig nach Roschdestwensky und Fick), bei gebeugtem Knie ist die Streckung erheblich eingeschränkt. Dieses Verhalten beruht auf den

Muskeln, welche beide Gelenke überspringen und wird in einem späteren Kapitel eingehend gewürdigt werden.

2. sind individuelle Unterschiede vorhanden, welche darauf beruhen, daß diese einschränkenden Einflüsse durch geeignete und früh im Leben einsetzende Übungen in weitgehendem Maße beseitigt werden können.

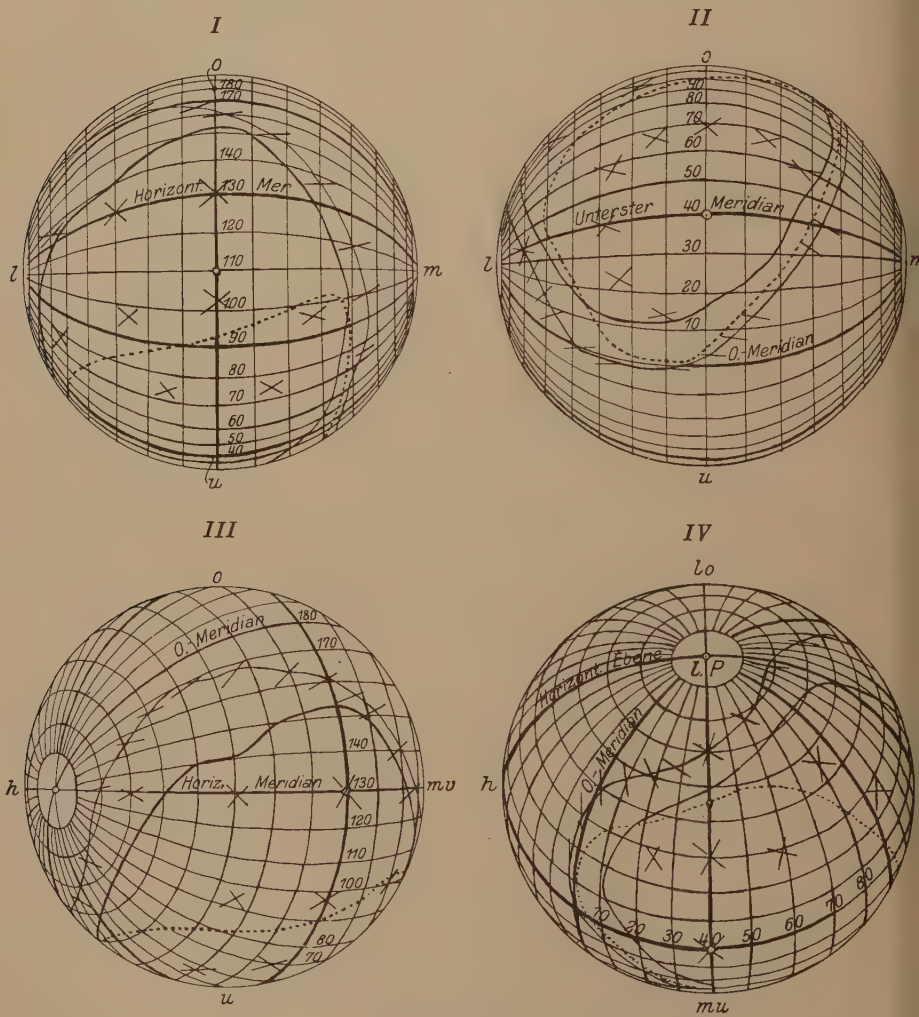


Fig. 19 I—IV.

Roschdestwenski und Fick haben in der erwähnten Arbeit an ihrem Untersuchungsmaterial die Exkursionsmöglichkeiten des Femur im Hüftgelenk nicht bloß nach Entfernung der Muskeln bestimmt, sondern auch bei noch erhaltenen Muskeln, und zwar 1. bei gestrecktem, 2. bei gebeugtem Knie. In der Fig. 19

I—IV) sind die von ihnen gefundenen verschiedenen Exkursionsgrenzen dar-estellt, und zwar die Exkursionsgrenze bei gestrecktem Knie durch die prak-sche Linie, die Grenze der Exkursion bei gebeugtem Knie durch die innere aus-zogene, die Exkursionsgrenze bei durchschnittenen Muskeln durch die außen usgezogene Linie.

Wie schon Henke, namentlich aber H. Virchow bei verschiedenen Ge-genheiten betont haben, beruht der große Bewegungsumfang in den Gelenken er sog. Kautschukkünstler teils ausschließlich, teils zum großen Teil auf ner besonderen Einübung der Muskulatur und demnach auf einer vollkommeneren usnützung der im Gelenk selbst möglichen Bewegungsexkursion und nicht auf er besonderen Beschaffenheit des Gelenkes. Indessen sind doch wohl auch indi-duelle Unterschiede hinsichtlich der möglichen Exkursionen in den Gelenken lbst und so auch in den Hüftgelenken vorhanden. Genauere Untersuchungen gen darüber nicht vor.

Sehr merkwürdig ist eine Angabe von R. Fick (Lehrbuch), wonach er an n Bänderpräparaten sehr große Unterschiede im Bewegungsumfang der Hüft-lenke konstatieren konnte, an den Muskelleichen aber den Bewegungsumfang erall annähernd gleich gefunden hat. Dies ließe sich höchstens erklären bei nahme einer gleichmäßigen Anspannung (Einbuße der Dehnbarkeit) aller Muskeln den untersuchten Leichen.

Zum Schluß will ich an die Bemerkungen erinnern, welche ich auf S. 520 s II. Bandes dieses Lehrbuches über die Bewegungsbeschränkung in den organi-hen Gelenken mit drei Graden der Freiheit der Bewegung gemacht habe. Der ittelstellung der Femurlängsachse entspricht eine bestimmte mittlere Längs-fationsstellung. Würde von dieser Stellung aus das Femur nach dem Listing-hen Gesetz bewegt, so entspräche jeder abgelenkten Stellung der Femurlängs-hse eine bestimmte längsrotatorische Stellung, welche man vielleicht als Listing-he Stellung bezeichnen könnte. Würden durch den hinteren Punkt, in welchem e Längslinie des Femur bei der Mittelstellung die Hinterseite der Exkursions-gel trifft, zwei Systeme von Richtungskreisen gelegt, die sich senkrecht schneiden d so gestellt sind, daß einer der Kreise in der Mittelstellung mit der Epikondylen-ie zusammenfällt, so würde letztere in allen abgelenkten Listingschen Stel-ngen mit einem Kreis des betreffenden Systems von Richtkreisen zusammen-llen. Die wirkliche längsrotatorische Mittelstellung in den abge-kten Lagen des Femur wird in den mittleren Lagen diesen Listingschen ellungen noch ziemlich genau entsprechen, in den extremen Lagen aber wegen er Unregelmäßigkeit der Bänderanordnung davon abweichen.

Bei dem von uns und anderen gewählten Liniensystem (Gradnetz) zur Orts-estimmung auf der Exkursionskugel fällt in der Mittelstellung die Epikondylen-nie mit einem Meridiankreis (Straßer) oder mit einem Parallelkreis (Fick) usammen. In abgelenkten Stellungen aber, wenn sie durch eine Drehung um eine Querachse des Femur herbeigeführt sind, ist solches nicht mehr der Fall; 0° Längs-otation entspricht dann also nicht mehr genau einer Listingschen Stellung. Der Fehler ist aber geringer, wenn die Pole des Gradnetzes möglichst weit von der Mitte des Verkehrsgebietes entfernt sind, was bei unserer Wahl der Polachse zu-trifft, nicht aber bei der von R. Fick gewählten Lage der Pole.

γ) Instantane Drehungen und Drehbeschleunigungen.

Vereinbarung bezüglich der Wahl der Achsen.

Man kommt oft in den Fall, die in einer bestimmten Ausgangs- oder Durchgangsstellung, in einem bestimmten Augenblick stattfindende Drehbewegung oder eine neu hinzukommende Drehbeschleunigung nach rer Richtung und Größe genau zu charakterisieren. Man kann den ugenblick so kurz nehmen, daß die absolute Größe der Abänderung

der Drehbewegung nach Richtung und Geschwindigkeit während desselben verschwindend klein ist. Eine solche instantane Drehbewegung geschieht immer um eine bestimmte gerade Linie als Achse (s. I. Band d. L., S. 47), welche natürlich durch den Gelenkmittelpunkt geht. Andererseits muß in einem noch so kurzen Augenblick die Abänderung der Drehbewegung nach ihrer Geschwindigkeit und Richtung doch einen reellen Wert haben in dem Sinn, daß sie während einer ganzen Zeiteinheit in gleicher Weise fortdauernd einen bestimmten meßbaren Betrag, den wir Drehbeschleunigung nennen, ergeben müßte. Die Achse dieser neu hinzukommenden Drehung kann zu der Achse der im betreffenden Augenblick bereits vorhandenen Drehbewegung in einem beliebigen Winkel stehen. Jede neue Drehbeschleunigung entspricht natürlich einer bestimmten neuen Krafteinwirkung.

Die Achse, um welche die in einem bestimmten Augenblick vorhandene instantane Anfangsdrehung des Femur oder die neu hinzukommende Drehung (Drehbeschleunigung) stattfindet, kann in ihrer Lage zum Becken direkt bestimmt werden durch Angabe der drei Winkel, welche sie mit drei Hauptachsen des Beckens bildet (Bestimmung der Koordinaten des Gelenkmittelpunktes und eines zweiten Punktes der Achse zu diesen Hauptachsen). In den meisten Fällen ist es jedoch zweckmäßiger, die Drehbewegung oder Drehbeschleunigung zu zerlegen in 2 oder 3 Drehbewegungen resp. -Beschleunigungen um 2 oder 3 senkrecht zueinander stehende Achsen. Sie müssen senkrecht zueinander stehen, weil nur in diesem Fall kein Teil der Bewegung vernachlässigt, keiner doppelt gerechnet wird.

Eine solche Zerlegung ist ganz besonders notwendig, wenn es sich darum handelt, eine aus mehreren verschiedenen Drehbeschleunigungen resultierende gemeinsame Drehbeschleunigung zu ermitteln. Man muß hier die Komponenten der verschiedenen Drehbeschleunigungen für jede der drei Gelenkachsen ermitteln und summieren.

Eine wichtige Frage ist nun hierbei die zweckmäßige Wahl der Hauptachsen.

a) Inkorrekte Wahl der Hauptachsen.

Vollständig inkorrekt und verwerflich ist die vielfach übliche Zerlegung der Drehbewegungen und Drehbeschleunigungen in eine Drehung um die Längsachse des Femur, eine solche um eine frontale horizontale und in eine dritte Drehung um eine sagittale horizontale Achse, wobei die beiden letztgenannten Achsen zum Becken fest angenommen werden.

(Die gewöhnliche Angabe: frontale Achse und sagittale Achse genügt nicht, da es unendlich viele verschiedene frontale Richtungen in der Frontalebene und unendlich viele sagittale Richtungen in der Sagittalebene gibt.)

Bei jeder anderen Stellung als bei der anatomischen Ausgangsstellung schneidet sich die Längsachse mit den beiden anderen Achsen

nicht rechtwinklig; es wird hierbei ein Teil der Bewegung vernachlässigt und ein anderer doppelt gerechnet. Leider hat R. Fick bei der Analyse der Muskelwirkung am Hüftgelenk diese Art der Zerlegung gewählt.

b) Zum Becken feste Achsen.

Dagegen ist es mathematisch völlig korrekt, wenn man drei den Hauptrichtungen des Beckens und Rumpfes beim aufrechten Stand entsprechende, zum Becken feststehende Gerade, die sich im Gelenkmittelpunkt rechtwinklig schneiden, eine vertikale, eine horizontale

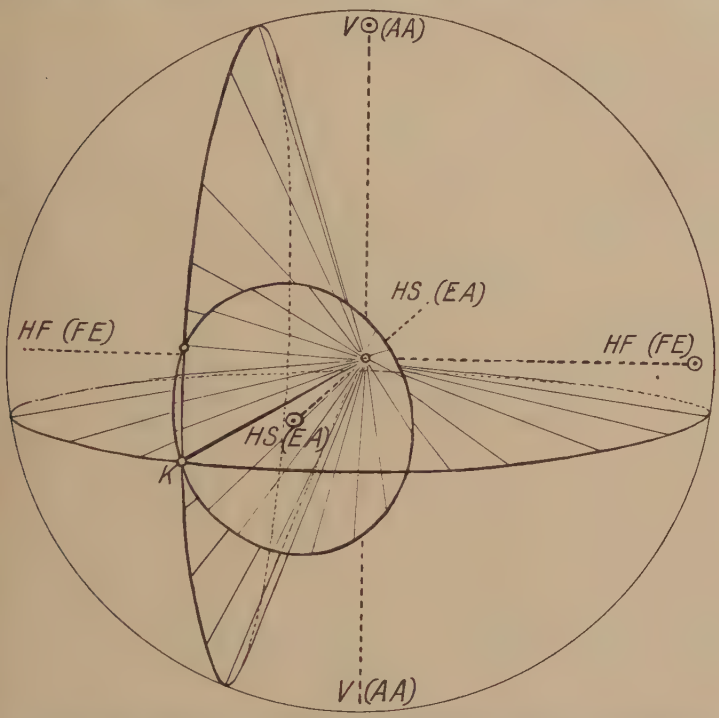


Fig. 20. Zerlegung der instantanen Drehung nach drei zum Becken feststehenden Achsen.

sagittale und eine horizontale frontale Achse als Hauptachsen der Drehung annimmt. Für die anatomische Ausgangsstellung des Femur würde die Längslinie des letzteren mit der vertikalen Achse zusammenfallen; bei horizontal nach vorn gehobenem Oberschenkel aber entspräche sie der horizontalen sagittalen Achse. In jeder anderen Stellung aber muß die Femurlängslinie schräg zu diesen Hauptachsen verlaufen und das gleiche muß im allgemeinen mit den queren Durchmessern des Femur und des Oberschenkels der Fall sein. Jede Drehung aus einer solchen

Stellung müßte demnach in drei Drehungen um drei schräge, schräg zur Längsachse des Femur gerichtete Achsen zerlegt werden. Diese Art der Zerlegung bietet Vorteile namentlich bei der Behandlung statischer Aufgaben. Sie ist aber sehr wenig anschaulich, wenn es sich um die Zerlegung wirklich stattfindender Drehungen handelt. Auch weicht sie durchaus ab von der Art und Weise, nach welcher wir im gewöhnlichen Leben die Bewegungen des Oberschenkels zu erfassen und in ihre Elemente zu zerlegen suchen und nach welcher sie vom Turner, vom Arzt, vom Künstler analysiert und zerlegt werden.

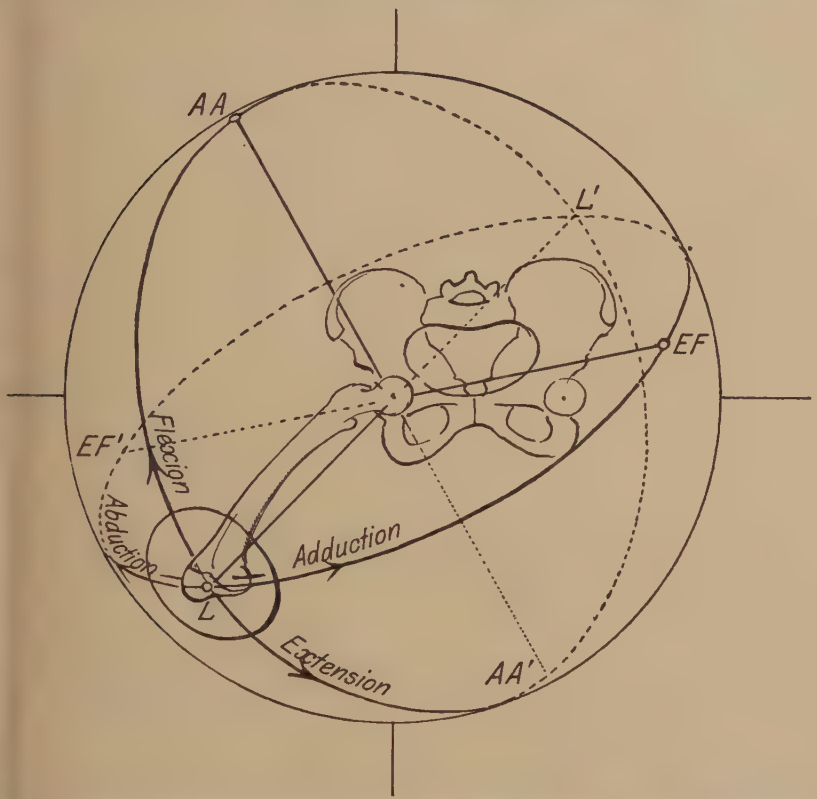
Es liegt in der Tat viel näher, bei den Bewegungen des langen Oberschenkels in erster Linie die Richtungs- und Stellungsänderung des Gliedes im ganzen und seiner Längsachse zu berücksichtigen und in zweiter Linie dann die Drehung, welche er gleichzeitig um seine Längsachse ausführt. Erstere Bewegung kann als Radialbewegung bezeichnet werden. Soll die Zerlegung mathematisch korrekt sein, so darf eine reine Radialdrehung keine Spur einer Drehung um die Längsachse enthalten und muß um eine Achse stattfinden, welche zu der Längsachse des Femur quer steht. Es ist klar, daß jede derartige Radialdrehung wieder zerlegt werden kann in zwei Drehungen um zwei zueinander senkrecht stehende Querachsen, so daß dann die ganze Drehbewegung des Oberschenkels, die um eine bestimmte instantane Achse stattfindet, ebenfalls völlig korrekt in drei Drehungen um drei zueinander senkrecht stehende Achsen zerlegt ist.

Im Verlauf einer merkbar großen Stellungsänderung kann höchstens eine der drei Achsen sowohl gegenüber dem Femur als gegenüber dem Becken fest sein, und mindestens zwei der Achsen müssen ihre Stellung zum Becken oder zum Femur oder zu beiden Körpern zugleich ändern.

c) Zum Femur feste Achsen. (H. v. Meyer.)

Es besteht aber die Möglichkeit, die drei Achsen so zu wählen, daß sie zum Femur fest stehen bleiben. Nach diesem Prinzip hat H. v. Meyer (Statik und Mechanik S. 115 und S. 335) die Bewegung im Kugelgelenk zerlegt. Die erste Teilbewegung bei einer Drehung des Femur im Hüftgelenk ist nach ihm eine Drehung, bei welcher die Kniescheibe oder die Kniekehle vorangeht: H. v. Meyers Flexions-Extensionsbewegung um eine quer zum Femur stehende Hüftgelenkachse, welche der Epikondylenlinie parallel läuft; die zweite Teilbewegung ist eine Drehung, bei welcher der Epicondylus internus oder der Epicondylus externus vorangeht: H. v. Meyers Adduktions-Abduktionsbewegung um eine quere Femurachse, welche zu der eben genannten senkrecht steht. Die dritte Teilbewegung ist natürlich die Drehung um die Längsachse. Diese Art der Zerlegung ist durchaus korrekt und durchaus anschaulich — eine stattfindende kleine Drehung kann durch Zerlegung in die genannten drei Teilbewegungen (unter Angabe des Verhältnisses der Drehungswinkel) genau charakterisiert werden — sobald die Ausgangsstellung in jeder Hinsicht genau bekannt ist. Es muß aber nicht bloß die Stellung der Längslinie, sondern

ıch die Längsrotationsstellung genau bekannt sein; denn je nach der ızteren erfolgen Flexion und Extension, Abduktion und Adduktion einer ganz anderen Richtung. Auch liegt etwas Mißliches und In-›rrektes darin, daß die Ausdrücke Flexion und Extension, Ab- und



ig. 21. Zerlegung der instantanen Drehung etc. nach drei zum Femur feststehenden Hauptachsen (H. v. Meyer).

dduktion, die sich doch eigentlich auf die Stellungsänderung des Ober-henkels gegenüber der Längsrichtung des Rumpfes und seiner Median-›ene beziehen, für ganz verschiedene Bewegungen gebraucht werden, nach der initialen Längsrotationsstellung.

d) Wahl der Achsen nach Straßer.

Diese Übelstände fallen weg bei der von mir vorgeschlagenen Art er Zerlegung der Radialbewegung:

aa') In eine Drehung parallel dem Meridiankreis der Femurlängs-hse (d. h. parallel der Ebene, welche durch die Längslinie des Femur nd die Verbindungslinie der beiden Hüftgelenkmittelpunkte geht) und

$\beta\beta'$) in eine Drehung aus der Meridianebene heraus, parallel einer Ebene, welche senkrecht zu der Meridianebene der Ausgangsstellung durch die Längslinie des Femur geht.

Die erste Drehungskomponente ist stets eine Drehung nach dem Hüftgelenk der anderen Seite hin oder von ihm weg; sie erfolgt um eine Querachse, welche auf der Meridianebene senkrecht steht und stets in die Sagittalebene fällt (sagittale Querachse). Wir bezeichnen sie als Adduktion, wenn es sich um eine Annäherung an die Medianebene und das Hüftgelenk der anderen Seite handelt, als Abduktion bei gegenteiligem Sinn der Drehung.

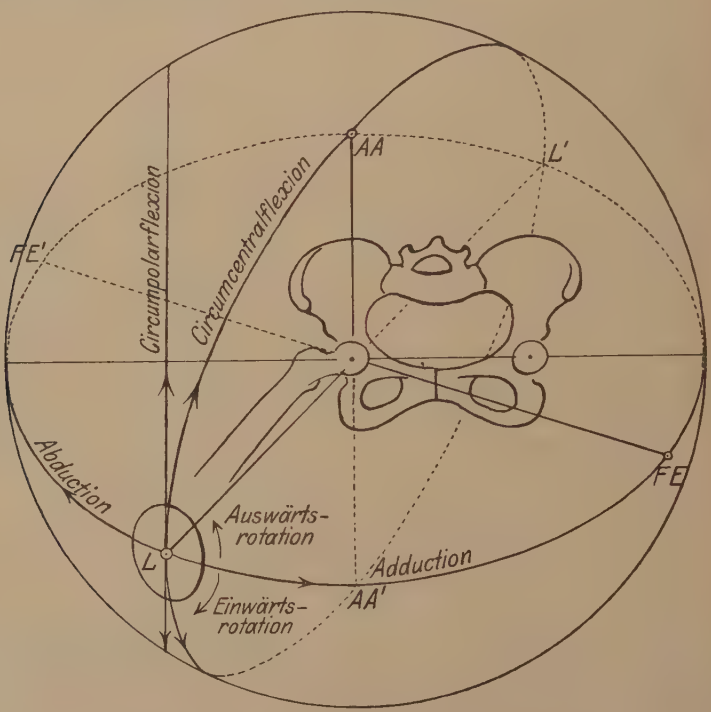


Fig. 22. Zerlegung der instantanen Drehung im Hüftgelenk nach Straßer.

Die zweite Drehungskomponente erfolgt nach der sagittalen Querachse hin, um eine Querachse des Femur, welche mit der Meridianebene der Längsachse zusammenfällt (meridionale Querachse). Wir nennen die betreffende Drehung Flexion, wenn die Femurlängslinie aus ihrer Meridionalebene heraus nach dem Bauch zu und kranialwärts bewegt wird, Extension, wenn sie vom Bauch weg und kaudalwärts bewegt wird.

Ausdrücklich muß hervorgehoben werden, daß diese Flexions- und Extensionsbewegung im allgemeinen (von äquatorialen Stellungen

bgesehen) nicht identisch ist mit einer Drehung um die horizontale rontale Achse (unsere Polachse). Der Kniepunkt der Längslinie folgt ur im ersten Augenblick dem Parallelkreis, seine Bewegung geschieht elmehr in einem größten Kreis, der sich vom Parallelkreis ablöst und n einem antipodalen Punkte hinführt; diesem größten Kreis parallel ewegen sich auch die übrigen Punkte des Mobile. Für die Drehung m die Polachse (horizontale Frontalachse) haben wir deshalb die beondere Bezeichnung der Circumpolarflexion- und -extension eingeführt, während die Bewegung um die meridionale Querachse des emur als „reine Flexions- resp. Extensionsbewegung, resp. ls Circumzentralflexion-extension bezeichnet werden kann.

Man müßte der reinen Flexion je nach der Ausgangsstellung einen rößeren oder geringeren Betrag von Abduktion und Auswärtsrotation er von Adduktion und Einwärtsrotation hinzufügen, um eine Circumolarflexion zu erhalten usw.

Es ist klar, daß sich die von uns vorgeschlagene Art der Zerlegung er instantanen Bewegung in zweckmäßiger Weise an unsere Methode er Stellungsbestimmung anschließt. Das Skelettphantom kann da- benutzt werden, um für die beliebige Ausgangsstellung die drei Hauptrehungen zu demonstrieren.

Zur genaueren Ausführung der reinen Flexions- oder Extensionsewegung am Phantom benutzt man als Leitfläche ein zweites kleines, um n Gelenkmittelpunkt herum gekrümmtes Rahmenstück, welches am Meridianhmen verschieblich ist, zu ihm senkrecht steht und an den Längsstift des Femur gelegt werden kann. Eine reine Flexion oder Extension kommt zustande, wenn ch der Längsstift des Femur diesem Rahmenstück entlang verschiebt, und die pikondylenlinie zu ihm senkrecht bleibt, dabei ihre Neigung zum Rahmenstück ibehält. Auch dieses Rahmenstück ist mit Gradteilung versehen (Fig. 28).

D. Kräfte zur Drehung im Hüftgelenk.

α) Die Beurteilung der statischen Momente.

Es handelt sich hier vor allem um die Beurteilung der statischen Momente der distalwärts vom Hüftgelenk an der unteren Extremität nd speziell am Femur angreifenden Kräfte gegenüber den Achsen, elche durch den Mittelpunkt des Hüftgelenkes gelegt werden können. hre Bestimmung ist notwendig und ausreichend zur Lösung der das üftgelenk betreffenden statischen Aufgaben resp. zum Verständnis er Verhältnisse, welche bei der Feststellung des Hüftgelenkes in Beracht kommen. Die Drehungsachsen können dabei als feste Achsen etrachtet werden. Aber auch bei kinetisch-dynamischen Aufgaben ann es nützlich sein, die Einflüsse zur reinen Drehung um Achsen des elenkes für sich ins Auge zu fassen, woneben dann freilich auch noch ie gegen die Gelenkachsen resp. gegen den Gelenkmittelpunkt gerichteten bewegenden Einwirkungen Berücksichtigung finden müssen . Allg. Teil S. 166 u. ff.).

Der Einfluß zur Drehung um eine Achse wird durch das statische Moment bestimmt. Das statische Moment oder Kraftmoment eines Muskels mit Bezug auf irgend eine Drehungsachse hängt von zwei Faktoren ab, einem geometrischen und einem physiologischen. Der physiologische Faktor ist die Spannung des Muskels, der geometrische der (kürzeste) Abstand der Kraftlinie des Muskels von der betreffenden Drehungsachse, resp. wenn der Muskel schräg steht, zu den quer zur Achse verlaufenden Ebenen (der Abstand der Projektion der Kraftlinie des Muskels auf eine dieser Querebenen von der Drehungsachse).

Der geometrische Faktor läßt sich im allgemeinen aus den bekannten anatomischen Verhältnissen mit beliebiger Genauigkeit ermitteln und damit auch die Größe des Kraftmomentes für die Einheit der Spannung. Neben einer raschen und approximativen Bestimmungsweise gibt es Methoden zur genaueren Bestimmung, unter denen eine experimentelle Methode ganz besonders wichtig ist. Wir werden später auf sie näher eingehen.

1. Der physiologische Faktor.

a) Die Spannung des Muskels pro Einheit des Querschnittes.

Die Spannung eines Muskels hängt vor allem ab von der Zahl seiner Fasern, außerdem aber von der Natur, dem Ernährungs- und Ermüdungszustand, dem Dehnungszustand und vor allem dem Grad der Reizung der kontraktilen Substanz. Vergleichbar ist nur die pro Einheit des Faserquerschnittes in der Längsrichtung der Faser vorhandene Spannung. Man könnte sie die „physiologische Spannung pro Querschnittseinheit" nennen. Die Summe der Faserquerschnitte eines Muskels wird längst als „physiologischer Querschnitt" des Muskels bezeichnet. Das Produkt aus der physiologischen Spannung pro Querschnittseinheit der Faserung (qcm) und dem „physiologischen Querschnitt" (in qcm) gibt aber in der Regel nicht die Größe der in der Längsrichtung des ganzen Muskels sich geltend machenden Spannung, weil ja die Fasern meist nicht genau in dieser Richtung angeordnet sind. Nehmen wir an, daß die physiologische Spannung im Muskel überall die gleiche ist (pro qcm = s), daß aber verschiedene Muskelportionen vom Querschnitt q_1, $q_2 \ldots q_n$ unter verschiedenen Winkeln α_1, α_2, $\alpha_3 \ldots \ldots \alpha_n$ von der Zugrichtung des ganzen Muskels abweichen, so ist die Gesamtspannung in der Längsrichtung des Muskels $S = q_1 \cdot \cos \alpha_1 + q_2 \cdot \cos \alpha_2 + q_3 \cdot \cos \alpha_3 + \ldots \ldots + q_n \cdot \cos \alpha_n$. Hierbei ist, um uns der R. Fickschen Ausdrucksweise zu bedienen, dem „Fiederungswinkel" Rechnung getragen.

Ich nenne die in der Längsrichtung des Muskels wirkende Spannung die effektive Spannung, möchte aber auch den Begriff der effektiven Faserlänge und des effektiven Faserungsquerschnittes einführen. Man kann sich am schrägfaserigen Muskel die schräggerichteten Fasern durch längsgerichtete ersetzt denken, welche dieselbe Spannung in der Längsrichtung des Muskels zu entwickeln vermögen und bei einer

bestimmten Verkürzung oder Verlängerung des Muskels die gleiche relative Längenänderung erfahren. Die substituierten Fasern können dünner oder weniger zahlreich, müssen aber länger sein. Denkt man sich alle Fasern des Muskels in dieser Weise ersetzt, so erhält man einen längsfaserigen Muskel, der nach ihrer Größe und Form die gleiche Arbeit leistet. Der Gesamtquerschnitt seiner Faserung stellt den effektiven Querschnitt des schrägfaserigen Muskels dar, seine Faserlänge die effektive Länge der Fasern des schrägfaserigen Muskels.

Wir haben im ersten Bande dieses Lehrbuches (S. 135 u. ff.) besonderen Wert darauf gelegt, zu zeigen, daß der Muskel bei jeder beliebigen Länge innerhalb der Grenzen seiner physiologischen Längenänderung je nach der Intensität der Erregung eine verschiedene Spannung zu entwickeln vermag von 0 bis zu einem bestimmten Maximum, und daß er die jeweilige Spannung während längerer Zeit beizubehalten vermag nur unter entsprechender Fortdauer des Stoffumsatzes. Gerade auf dieser Eigenschaft beruht im wesentlichen die Brauchbarkeit des Muskels für die verschiedenen mechanischen Leistungen des Körpers.

Trotz dieses Wechsels der Spannung mußte man versuchen, die verschiedenen Muskeln nach ihrem Arbeitsvermögen miteinander zu vergleichen. Man hat sich zu diesem Behufe an die maximale Spannung gehalten, welche der Muskel überhaupt bei stärkster Reizung zu entwickeln vermag. Es ist zu erwarten, daß innerhalb größerer Gruppen von Muskeln die Qualität der kontraktilen Substanz nicht allzusehr wechselt und deshalb die maximalen Spannungen pro qcm physiologischen Querschnitt annähernd gleich gesetzt werden können. Die betreffende Maximalspannung ist von den Physiologen als die „absolute Muskelkraft" bezeichnet worden. Ed. Weber und nach ihm viele andere haben die Größe der absoluten Muskelkraft beim Menschen zu bestimmen gesucht aus der Spannung, welche die Wadenmuskeln entwickeln, wenn sie den mit Gewichten belasteten Körper gerade noch (oder gerade nicht mehr) in den Zehenstand zu erheben vermögen. Wir werden auf die mechanische Seite dieses Problems weiter unten zurückkommen. Vorläufig sei nur erwähnt, daß Ed. Weber für die absolute Muskelkraft (infolge irrtümlicher Berechnung) einen jedenfalls viel zu niedrigen Wert von 1,087 kg erhalten hat. Henke berechnet ihn auf 7,0 kg, Koster auf 9—10 kg, ebenso R. Fick, Hermann auf 6,24 kg, Reys auf 5,252 kg. Die Verschiedenheit der Resultate rührt her 1. von der Verschiedenheit des experimentellen Befundes bezüglich der Belastung, bei welcher Erhebung in den Zehenstand gerade noch möglich ist, 2. von verschiedener Berechnung der hierbei in der Achillessehne wirksamen Spannung, 3. von verschiedener Meinung bezüglich der in Betracht kommenden Querschnittsfläche und von verschiedener Art der Messung der letzteren. Nach eigenen mit Herrn Altschuler angestellten Messungen und auf Grund der von Hermann und Reys gelieferten experimentellen Daten möchte ich vorläufig eine Schätzung auf $6^1/_2$ Kilo für richtig halten.

Ein großer Mangel in den bisherigen Bestimmungen der absoluten Muskelkraft liegt darin, daß dem relativen Längen- resp. Dehnungs-

zustande der untersuchten Muskeln nicht Rechnung getragen wurde. Muskeln am Ende ihrer Verkürzung vermögen sicher nicht eine so hohe Spannung zu entwickeln als Muskeln, welche innerhalb der physiologischen Grenzen der Längenänderung stark gedehnt sind (wie bereits Schwann gezeigt hat).

R. Fick (II. Band seines Lehrbuches S. 296) möchte aus diesem Grund unter „absoluter Muskelkraft" resp. Muskelkrafteinheit die Spannungsgröße verstanden wissen, welche bei mittlerer Gelenkstellung und stärkstem Willensimpuls entwickelt werden kann. „Bei Dehnung des Muskels . . . . . steigt die Spannung natürlich beträchtlich, ja vielleicht auf das Doppelte ihrer Größe bei der Mittelstellung. Umgekehrt muß die Spannung, auch wenn wir immer erneute Willensimpulse zum Muskel schicken, bei fortschreitender Kontraktion des Muskels immer mehr abnehmen. Wir sehen also, die „Muskelkrafteinheit" (10 kg pro 1 cm nach R. Fick) ist nur ein Mittelwert für die verschiedenen bei der Muskelwirkung tatsächlich auftretenden Muskelspannungen, durchaus nicht etwa der Maximalwert, wie manchmal angenommen wird."

In der zusammen mit J. Roschdestwenski 1913 von R. Fick veröffentlichten Untersuchung über die Bewegungen im Hüftgelenk und die Arbeitsleistung der Hüftgelenkmuskeln geht R. Fick noch weiter und nimmt an, daß das Spannungsvermögen proportional der relativen Faserlänge sich ändert und daß die betreffende Kurve der Spannungswerte über den Faserlängen als Abszesse geradlinig (oder nur wenig nach oben konkav) abfalle. Inwieweit diese Annahme zulässig ist, muß in Wirklichkeit erst durch genaue Versuche ermittelt werden.

Von besonderer Bedeutung für die Fragen der Muskelmechanik ist neben der Kenntnis der Abhängigkeit des maximalen aktiven Anspannungsvermögens der Muskeln von der relativen Länge, ihre Abhängigkeit von der Dauer der Reizung (Zeit). Die maximale Spannung, deren ein Muskel während eines ganz kurzen Momentes fähig ist, kann sehr wohl eine relativ hohe sein, erheblich höher als die Spannung, welche er längere Zeit hindurch oder auch nur während Minuten und Bruchteilen von solchen beizubehalten vermag. Für sehr viele Aktionen und Leistungen des Körpers sind aber gerade solche „Dauerspannungen" von besonderer Bedeutung.

Es muß möglich sein, für passend ausgewählte parallelfaserige Muskeln, die unter möglichst normalen Verhältnissen der Zirkulation belassen sind, am lebenden Geschöpf festzustellen, wie sie sich bei verschiedenen relativen Längen hinsichtlich der Spannung bei maximaler physiologischer oder künstlicher Erregung verhalten. Die Versuche könnten in der Weise angeordnet sein, daß bei minimaler Verkürzung Widerstände von dem kleinsten bis zum höchsten Betrag hervorgerufen werden (Prinzip der Kraftmesser), oder in der Art, daß schon bei der geringsten Verkürzung aus gegebener Länge die Belastung automatisch vermehrt, schon bei der geringsten Dehnung des Muskels dagegen automatisch vermindert wird. Auf diese Weise muß sich, durch Registriervorrichtungen, eine Kurve gewinnen lassen für jede bestimmte relative

Faserlänge, welche die Änderung der maximalen möglichen Spannung in der Zeit bei maximaler, gleichsam invariabler Innervation angibt (Kurve der isometrischen Spannung). Gerade diese Verhältnisse aber, welche für die Beurteilung der Muskeltätigkeit bei den verschiedenen mechanischen Verrichtungen von besonderem Wert sind, wurden von den Physiologen meines Wissens bis jetzt nur wenig berücksichtigt. (Eine weitere sich anschließende Aufgabe würde die Feststellung des gleichzeitigen Stoffumsatzes resp. der begleitenden Wärmebildung sein.)

b) Der maßgebende Querschnitt des Muskels.

Mag man nun für die Spannung des Muskels pro qcm Querschnitt den einen oder anderen Wert zugrunde legen (irgend einen Wert für die absolute Muskelkraft oder einen bestimmten Wert für eine bestimmte maximale Dauerspannung), so erhält man dabei doch in allen Fällen gut vergleichbare Werte für die Gesamtspannung der verschiedenen Muskeln, sofern nur die maßgebenden effektiven Querschnitte (und für die Vergleichung des Arbeitsvermögens die maßgebenden effektiven Faserlängen) in richtiger Weise bestimmt werden. In dieser Hinsicht ist früher viel gefehlt worden, man braucht, um dies zu erkennen, nur frühere und neuere verbesserte Querschnittstabellen der gleichen Gelenkmuskulatur miteinander zu vergleichen.

Fig. 23. Schrägfaseriger Muskel.

A. Fick ist zur Feststellung der Muskelquerschnitte in der Weise verfahren, daß er an den herausgeschnittenen Muskeln 3 cm lange Stücke aus der größten Dicke des Muskels herausschnitt, abwog und die Gewichte den Querschnitten parallel setzte. H. Buchner schob den dicksten Teil des Muskels in eine Holzgabel und maß das ausgefüllte Areal der Öffnung der Gabel. Dieses Verfahren ist später auch noch von R. Fick bei seiner Untersuchung über die Unterschenkel-Fußmuskeln (1892) und zuletzt von Roschdestwenski und R. Fick bei der Untersuchung der Hüftgelenkmuskeln (1913) angewendet worden. Es haften ihm doch wohl besonders große Fehlerquellen an. A. E. Fick und E. Weber in ihrer Untersuchung über die Schultermuskeln (1877) legten Querschnitte durch die dicksten Stellen der herausgeschnittenen festgefrorenen Muskeln, zeichneten den Umriß des Querschnittes auf Papier von bestimmter Dicke und verglichen die Gewichte der ausgeschnittenen Papierfelder. Grohmann unter R. Fick (1902) verfuhr bei der Untersuchung der Vorderarmmuskeln ebenso mit Rasiermesserschnitten durch die dicksten Partien der in mittlerer Gelenkstellung gehärteten Muskeln; nur verwendeten sie Bleiblech an Stelle der Papierblätter. All diesen Methoden ist gemeinsam, daß nicht der effektive und auch nicht der physiologische Querschnitt bestimmt wird, sondern der Querschnitt des Muskels an seiner dicksten Stelle. Man kann hierbei an den schrägfaserigen Extremitätenmuskeln Querschnittswerte erhalten, welche gegenüber dem physiologischen und effektiven Querschnitt um ein Vielfaches zu klein sind.

In neueren Untersuchungen ist der physiologische Querschnitt richtiger gemessen worden, meist in der Weise, daß man den Muskel in so viele einzelne Portionen gespalten hat, daß an jeder Portion ein einziger Querschnitt sämtliche Fasern trifft (Fig. 23). Die Summe aller dieser Querschnitte ist der gesuchte physiologische Querschnitt. Dies ist allerdings noch immer nicht der wirklich maßgebende Querschnitt; als solcher ist nur der „effektive Querschnitt" nach unserer obigen Definition zu betrachten. Es muß also, um mit R. Fick zu reden, auch noch der Fiederungswinkel berücksichtigt werden. In seiner Untersuchung über die Fußgelenkmuskeln (1892) hat R. Fick diesem Winkel, wie er angibt, wenigstens teilweise Rechnung getragen. Bei den Hüftgelenkmuskeln glaubten Roschdestwenski und Fick den Fiederungswinkel vernachlässigen zu dürfen.

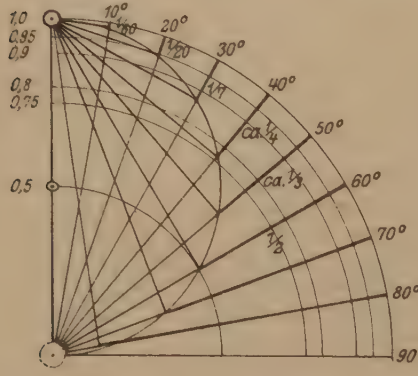


Fig. 24. Cosinustafel.

Der bei Vernachlässigung des Fiederungswinkels und bloßer Messung des „physiologischen" statt des effektiven Querschnittes resultierende Fehler ist in der Tat bei wenig vom Längsverlauf abweichender Faserrichtung nicht sehr erheblich, wie sich aus nebenstehender Fig. 24 ergibt. Ist α der Winkel, welchen die Faserrichtung mit der Längsrichtung (Zugrichtung) des ganzen Muskels bildet, so verhält sich die auf letztere entfallende Komponente zu der in Richtung der Schrägfasern wirkenden Spannung wie $\cos \alpha : 1$. Man erkennt aus der Figur, daß bei einem Winkel $\alpha = 10^0$ der Unterschied ca. $^1/_{60}$ beträgt ($\cos \alpha = {}^{59}/_{60}$); für $\alpha = 20^0$ beträgt er $^1/_{20}$, für $\alpha = 30^0$ aber schon $^1/_7$, für $\alpha = 40^0$ nicht ganz $^1/_4$, für $\alpha = 50^0$ nahezu $^1/_3$, für $\alpha = 60^0$ endlich $^1/_2$ des Betrages der Spannung in der Richtung der Schrägfasern.

Eine indirekte Bestimmung des physiologischen Querschnittes hat Ed. Weber vorgenommen. Er ermittelte durch Messung die mittlere Faserlänge L. Das Gewicht des Muskels nach Entfernung aller sehnigen Teile dividiert durch das spezifische Gewicht des Muskelfleisches und die mittlere Faserlänge gibt den wahren physiologischen Querschnitt. Noch einfacher ist es meiner Meinung nach, das Volum des isolierten Muskelfleisches durch Versenkung in Flüssigkeit im Maßzylinder zu bestimmen. Das Volum dividiert durch die mittlere Faserlänge gibt den wahren physiologischen Querschnitt.

Einfache Methode zur Bestimmung des effektiven Querschnittes.

Unter meiner Leitung hat Herr cand. med. Altschuler eine Reihe von Messungen zur direkten Bestimmung des **effektiven Querschnittes** und der effektiven Faserlänge begonnen. Über den einen Endpunkt a der Muskelfaser wird eine Stricknadel in die Richtung des Muskelzuges gelegt. Sodann legt man ein rechtwinkliges Dreieck so an die Muskelfaser an, daß es die Stricknadel berührt und daß die eine Kathete mit der Muskelfaser, der Scheitelpunkt des rechten Winkels aber mit dem anderen Ende der Muskelfaser b zusammenfällt (Fig. 25). Die zweite Kathete kreuzt sich mit der Stricknadel im Punkte c. Der Abstand a—c ist dann die effektive Länge L der Faser. Sind die Faser-

ngen den Exkursionen der Muskelansatzstellen gegenüber angepaßt, müssen die bei sämtlichen Fasern gefundenen Längen L einander leich gefunden werden. Es trifft dies am ehesten zu, wenn sich der tersuchte Muskel in einem Zustand mittlerer Verkürzung befindet. an wird bei der Messung vor allem solche Fasern berücksichtigen, ei denen sich der Winkel α am wenigsten und n gleichmäßigsten ändert. Der hier gefun-ene Wert von L kann auch für diejenigen asern als zutreffend genommen werden, elche wegen besonderer Verhältnisse sich bweichend verhalten und ohne Berücksich-gung aller Bedingungen einen abweichenden Wert von L zu ergeben scheinen. Das Volum es Muskelfleisches, im Maßzylinder gemessen, vidiert durch den Wert L, gibt dann den ffektiven Querschnitt des Muskels. n Hinblick auf das erstrebte Ziel der Unter-uchung ist die zuletzt genannte Methode un-reitig die weitaus einfachste und genaueste.

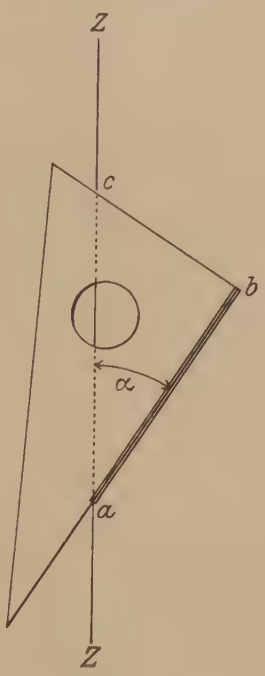


Fig. 25.

Im übrigen haftet all den angegebenen ethoden, einer wie der anderen, der große belstand an, daß es in der Regel nicht öglich ist, die Messungen genau bei mitt-rer relativer Länge der Muskeln und Mus-elfasern vorzunehmen. Selbst beim Leben-en befinden sich bei den mittleren Gelenk-ellungen nicht alle Muskeln im Zustand ittlerer relativer Länge, und andererseits efinden sich an den untersuchten Leichen ie Glieder namentlich im Knie- und Hüft-elenk in einer mehr oder weniger extremen tellung. Würde der elastische Zustand der leischfasern postmortal nicht verändert, so önnte durch Herausschneiden der Muskeln und leichte gleichmäßige nspannung der Fasern die natürliche Länge der ruhenden Faser efunden werden. Durch die Leichenstarre oder durch fixierende eagenzien (Formalin z. B.) wird sicher der elastische Gleichgewichts-ustand der ruhenden Faser verändert, so daß er sich der bei der Erstar-ung zufällig vorhandenen Länge einigermaßen anpaßt, und es fragt ch, ob z. B. nach Lösung der Leichenstarre die Faser vollkommen auf en ursprünglichen Elastizitätszustand zurückkehrt. Eine genauere ntersuchung dieser Verhältnisse wäre sehr erwünscht. Vielleicht ge-ngt es zu bestimmen, nach welchem Verfahren der natürliche Ela-izitätszustand postmortal am wenigsten verändert wird.

Die Querschnittsmaße, die man an gedehnten Muskeln erhält, nd natürlich zu klein, an verkürzten Muskeln findet man sie zu groß.

Ein besonders stark störendes Moment bei den postmortalen Ver-nderungen ist die Volums- und Gewichtsverminderung durch Ver-

dunstung von Flüssigkeit. Vielleicht ändert sich dabei die Längendimension weniger als jeder der beiden Querdurchmesser; dann würde der Übelstand bei der indirekten Querschnittsbestimmung stärker ins Gewicht fallen. Man muß es sich daher angelegen sein lassen, die Leichen entweder möglichst frisch zu untersuchen, oder mit allen Hilfsmitteln (feuchte Kammer etc.) die Verdunstung hintanzuhalten. Auf diesen Umstand haben R. Fick und Roschdestwenski ausdrücklich hingewiesen.

2. Der geometrische Faktor.

a) Bestimmung durch Projektion.

Sobald man die Spannung der ganzen Muskeln oder einzelner Muskelportionen überall gleich setzt, hängt die Größe ihres drehenden Einflusses (des statischen Momentes oder Kraftmomentes) mit Bezug auf eine bestimmte Drehungsachse nur noch von geometrischen Verhältnissen, nämlich vom Abstand ihrer Kraftlinie (resp. deren Projektion auf die Drehungsebene) von der Drehungsachse ab.

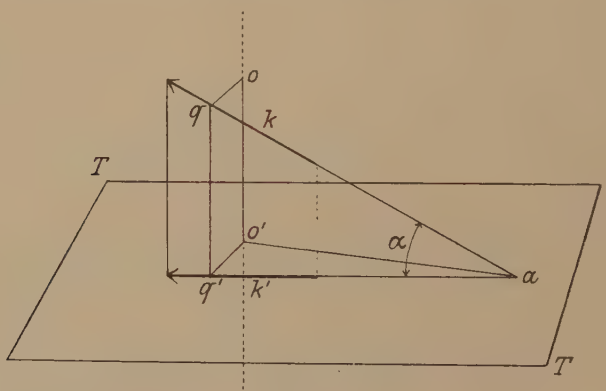


Fig. 26.

In Fig. 26 sei oo′ die Achse der Drehung, mit Bezug auf welche das statische Moment der Kraft k bestimmt werden soll. T T sei eine senkrecht zur Achse stehende Ebene. Die Kraft k trifft dieselbe im Punkte a. Ihr Angriffspunkt am beweglichen, starren Körper kann nach a verlegt, die Kraft k in a kann zerlegt werden in eine senkrecht zu T T, parallel oo′ gerichtete Komponente, welche keinen bewegenden Einfluß hat, wenn der Körper in der Linie oo′ festgestellt ist, und in die Komponente k_1, welche in der Linie der Projektion von k auf T T wirkt und an Größe der Projektion der in Linienmaß dargestellten Kraft k entspricht. $k_1 = k \cdot \cos \alpha$, wenn α den Winkel zwischen k und der Drehungsebene darstellt.

o′q′ ist der kürzeste Abstand der Projektion von k von der Drehungsachse = oq = dem kürzesten Abstand von k von dieser Achse.

Am Hüftgelenk lassen sich durch die maßgebenden Zugrichtungen der Muskeln und den Hüftgelenkmittelpunkt Ebenen legen. Wir nennen sie die Kraftebenen der Muskeln. Es läßt sich zeigen, daß mit Bezug auf diejenige Mittelpunktsachse, welche senkrecht auf der Kraftebene steht, das statische Moment des Muskels am größten und daß es gleich o ist, gegenüber allen Mittelpunktsachsen, welche in die Kraftebene entfallen.

b) Koordinatenmethode von A. Fick.

A. Fick (1849, Zeitschr. f. rationelle Medizin) bestimmte an einer gut präparierten unteren Extremität nach Feststellung des Hüftgelenkes in der Grundstellung mit Zirkel und Lineal die Koordinaten des Drehpunktes sowie der Muskelursprünge und Muskelansätze mit Bezug auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem und berechnete aus diesen Daten die Abstände der verschiedenen Muskeln von der horizontalen frontalen, der horizontalen sagittalen und der vertikalen Achse. Die in den Muskeln wirkende Kraft setzte er den Querschnitten proportional und zerlegte sie nach den zu den drei Drehungsachsen senkrecht stehenden Drehungsebenen. Die Produkte aus der für jede Drehung in Betracht kommenden Zugkomponente und ihren Abständen von der Drehungsachse ergab Zahlen, welche als den Drehungsmomenten proportional angesehen wurden.

Wir verzichten auf die tabellarische Wiedergabe der gewonnenen Resultate, da sie wegen der mangelhaften Querschnittsberechnung keinen besonderen Wert im einzelnen haben.

Als besonders wichtiges Ergebnis dieser Feststellungen bezeichnet R. Fick den Nachweis des erheblichen Übergewichtes des drehenden Einflusses der Abduktoren über die Adduktoren, des noch stärkeren Übergewichtes der Extensoren über die Flexoren (290 : 251) und des ganz besonders auffälligen Überwiegens der auswärtsrotierenden Drehungseinflüsse über die einwärtsrotierenden. Letzteres kommt zum Ausdruck in der auswärtsrotierten Stellung des lose gehaltenen frei herabhängenden Beines. Was das Übergewicht der Extensoren betrifft, so darf man nicht vergessen, daß es sich in der Grundstellung um eine ziemlich extreme Extensionsstellung handelt. Wir werden zeigen, daß sich das mächtige Drehungsmoment des Glutaeus maximus, auf welchem vor allem das Übergewicht der Extensoren beruht, in der Mittelstellung des Beines erheblich verkleinert.

c) Verfahren von A. E. Fick.

Weitere Messungen über die Drehungseinflüsse der Hüftgelenkmuskeln wurden von A. E. Fick angestellt. Bei Gelegenheit der Untersuchung der zweigelenkigen Muskeln (His' Archiv 1879) bestimmte er die statischen Momente der Hüftgelenkmuskeln mit Bezug auf die Flexions-Extensionsachse für den aus der Grundstellung um 30^0 nach vorn gehobenen Oberschenkel. Es kam hier bei der Bestimmung der

Drehungsmomente ein Prinzip und ein Verfahren zur Anwendung, welches der gleiche Autor zusammen mit Ed. Weber bereits bei der Untersuchung der Schultermuskeln mit Vorteil benutzt hatte.

In der betreffenden Publikation (Verhandl. der physik.-med. Gesellsch. Würzburg 1849) ist weitläufig bewiesen worden, daß bei gleich großen, kleinen Winkeldrehungen des beweglichen Gliedes von einer Ausgangsstellung aus um irgend eine Gelenkachse — also auch bei Drehungen um jede von drei senkrecht zueinanderstehenden Achsen — die Längenänderungen der Muskeln ihren Kraftmomenten pro Einheit der Muskelspannung mit Bezug auf diese Achsen proportional sind.

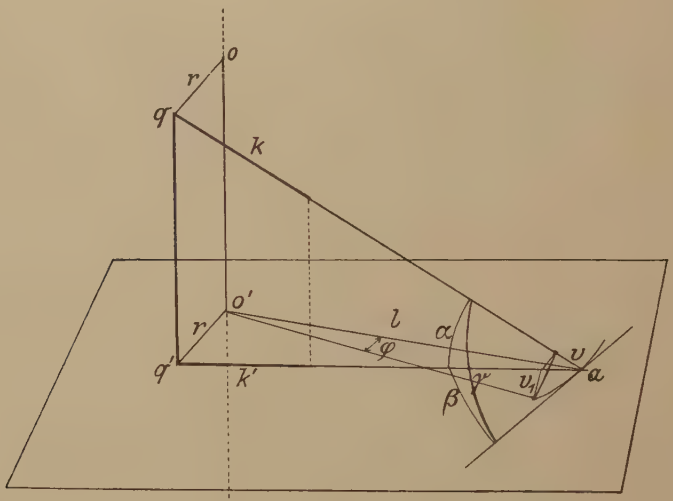


Fig. 27.

Dieser Satz läßt sich in bedeutend vereinfachter Art folgendermaßen beweisen:

In Fig. 27 entspreche die Ebene MN der Ebene der Drehung um die ins Auge gefaßte Achse oo', welche die Drehungsebene im Punkte o' schneidet; a ist der in der Bildebene gelegene Angriffspunkt der Kraft k, welche mit der Drehungsebene den Winkel α bildet; $k_1 = k \cdot \cos \alpha$ ist die Projektion der in Linienmaß dargestellten Kraft auf die Drehungsebene. Wird eine bestimmte kleine Drehung φ des Mobile um die Achse o ausgeführt, so bewege sich dabei der Punkt a im Abstand l von o um die Strecke $\omega = l \cdot \text{arc} \cdot \varphi$. Bei genügend kleinem Winkel φ ist ω geradlinig und bildet mit k^1 den Winkel β. Die Verschiebung v des Punktes a in der Richtung von k_1 beträgt nun $\omega \cdot \cos \beta = v_1$. Die Verschiebung v_1 in der Richtung von k_1 entspricht aber einer Verschiebung $v = v_1 \cdot \cos \alpha$ in der Richtung von k. $v = \omega \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha$. Denselben Wert von v erhält man aber auch direkt aus $\omega \cdot \cos \gamma$, wobei γ den Winkel zwischen ω und k bedeutet. Stellt man die Winkel α, β und γ durch Kreisbogen um a vom Radius 1 dar, so erhält man ein rechtwinkliges sphärisches Dreieck, in welchem nach einem bekannten Satze der sphärischen Trigonometrie der Cosinus der Hypothenuse $\gamma = \cos \gamma = \cos \alpha \cdot \cos \beta$ ist. Danach ist $v = \cos \gamma \cdot \omega = \omega \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta = \text{arc} \cdot \varphi \cdot l \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta$.

Andererseits ist das statische Moment der Kraft k mit Bezug auf die Achse
$o' = k_1 . r = k . \cos \alpha . r$, wobei $r = oq'$ gleich dem Abstand der Kraftlinie
k von o ist
$= l . \sin (90^0 - \beta) = l . \cos \beta$. $k_1 r = k_1 l . \cos \beta$. Das statische Moment $S =$
$. l . \cos \alpha . \cos \beta = \frac{k}{\text{arc } \varphi} \cdot v$. Wählt man nun φ nicht bloß klein, sondern
stets gleich groß, ebenso wie die Kraft k, so müssen im übrigen, mag die Rich-
ung von k zur Drehungsachse und ihre Entfernung von derselben sein, welche
ie wolle, die statischen Momente durchaus proportional sein der Verschiebung v,
welche der Ansatz des Muskels in der Zugrichtung des letzteren erfährt.

Die statischen Momente sind also den entsprechenden Verkürzungen proportional.

Dieser Satz gilt, so lange der Winkel φ so klein genommen wird, daß ω als geradlinig angenommen werden kann, und die Zugrichtung β bei der Drehung φ nicht merklich geändert wird.

Bei Drehungswinkeln von 5—10° sind diese Bedingungen erfüllt.

Wenn φ in Winkelgraden angegeben ist, so ist $\text{arc} . \varphi = \varphi . \frac{2\pi}{360} = \frac{11}{630}$.

Für $k = 1$ und $\varphi = 10$ ist demnach $S = v . \frac{63}{11}$ oder ungefähr das $5^1/_2$-
ache. Dies ist natürlich nur so zu verstehen, daß die Längeneinheit auch zu-
leich das Maß für die Einheit des statischen Momentes (Krafteinheit an einem
Hebelarm von der Länge 1) darstellt.

Man kann das Resultat $S = v . \frac{63}{11}$ auch folgendermaßen explizieren: Wenn
die Anzahl der Längeneinheiten bedeutet, um welche sich der Muskel bei Drehung
on 10° um eine bestimmte Achse verkürzt, und die Einheit des statischen Momentes
em Drehungseinfluß der Krafteinheit 1 an einem Hebelarm von der Länge 1
ntspricht, so ist $v . \frac{63}{11}$, das statische Moment des Muskels mit Bezug auf jene Achse
leich der drehenden Einwirkung (dem statischen Momente) der Krafteinheit
n einem Hebelarm von der Länge $v . \frac{63}{11}$. Dieser Hebelarm kann als der virtuelle Hebelarm des Muskels mit Bezug auf jene Achse bezeichnet werden.

„Die virtuellen Hebelarme" (R. Fick) sind den Verkürzungen proportional, ‚welche die verschiedenen Muskeln eines Gelenkes bei der Ausführung einer be-‚stimmten kleinen Drehung um beliebige Drehungsachsen von einer bestimmten ‚Ausgangsstellung aus erfahren und gleich den Drehungsmomenten der Spannungs-‚einheit der betreffenden Muskeln."

Um die Messung der Längenänderungen der Muskeln am Schultergelenk resp. Hüftgelenk leichter ausführen zu können, ersetzte E. Fick die Muskeln durch Fäden (Muskeln mit ausgebreiteter Anheftung durch mehrere Fäden), welche entsprechend dem Ansatz am Armskelett resp. Femur fest eingelassen waren, an den Ursprungsstellen an der Scapula resp. dem Thorax) jedoch oder am Becken durch glatte Ösen liefen und jenseits derselben durch Rollen und Gewichte jederzeit angespannt gehalten wurden. Bezüglich der genaueren Technik der Ergebnisse der Untersuchung sei auf die Originalarbeit (in His' Archiv 1879) verwiesen.

Die von E. Fick eingeführte Methode der Bestimmung der Drehungsmethode aus den Gesamtspannungen der Muskeln und ihren Verkürzungsgrößen bei bestimmten kleinen Winkeldrehungen stellt unstreitig einen sehr großen Fortschritt dar. Die Technik der Untersuchung ist später (1878) von mir durch Verwendung eines Rahmenwerkes wesentlich vereinfacht worden.

d) Wahl der Achsen.

Bei den weiteren Untersuchungen der Hüftgelenkmuskeln nach dieser Methode wird man aber gut tun, die Zerlegung der Drehung nach einem anderen System von Achsen vorzunehmen, als dies durch A. Fick und E. Fick und auch neuerdings durch R. Fick geschehen ist.

Die Momentbestimmungen von A. und E. Fick beziehen sich auf Achsen, welche zum Becken festgestellt sind, und zwar wurden die statischen Momente in der Grundstellung für alle drei zueinander senkrecht stehende Achsen, bei vorwärts gehobener Femurstellung aber allein für die horizontale frontale Achse bestimmt. Jede weitere Momentbestimmung um dieselben Achsen in seitlichen Stellungen des gehobenen Femur würde das Unzweckmäßige der Achsenwahl und die Unübersichtlichkeit der Zerlegung gezeigt haben. Immerhin ist eine solche Wahl der Achsen wenigstens korrekt. Die von R. Fick bei der Besprechung der Wirkungsweise der einzelnen Muskeln praktizierte Art der Zerlegung in Drehungen um zwei zum Becken feste horizontale Achsen und um die mit dem Femur sich verschiebende Längsachse des Femur ist nicht bloß unzweckmäßig, sondern für eine Ausdehnung der Momentbestimmungen auf beliebige Stellungen absolut verfehlt. Ich verweise in dieser Beziehung auf das oben S. 41 und früher schon an anderer Stelle Gesagte.

Es ist zu hoffen, daß schließlich doch die von mir vorgeschlagene Wahl der Hauptachsen für die verschiedenen Stellungen als die zweckmäßigste allgemein anerkannt werden wird.

e) Das Skelettmuskelphantom.

Um nun aber für irgend eine Stellung diese drei Arten der instantanen Drehung und die dabei auftretenden Veränderungen in der Lage, Richtung und Länge der Muskeln bequem und anschaulich zu demonstrieren, kann sehr gut das schon für die Bestimmung der Stellungen des Femur empfohlene Skelettphantom benutzt werden.

Um an demselben die Längenänderungen der Hüftgelenkmuskeln demonstrieren zu können, ist noch notwendig, daß man die Zugrichtung der verschiedenen Muskeln resp. ihrer verschiedenen Hauptportionen durch Fäden darstellt, welche an den Ursprungsstellen durch Ösen laufen und durch jenseits angehängte Gewichte gespannt werden. Zur besseren Übersicht laufen die Fäden zu einem vertikal gestellten Brett und gehen vor demselben durch eine zweite Öse; erst unterhalb derselben an den senkrecht und parallel vor dem Brett nebeneinander gereihten Fäden sind die stäbchenförmigen Gewichte angehängt. Den in solcher Weise komplizierten Apparat (Fig. 28), der sich sehr gut für die anatomische und klinische Demonstration eignet, möchte ich als „Skelettmuskelphantom“ bezeichnen.

Man kann an einem solchen Phantom sehr gut aus irgend einer beliebigen Gelenkstellung bestimmte kleine Winkeldrehungen des Femur, z. B. von 10^0 um jede der drei Hauptachsen der Drehung ausführen

und die dabei auftretenden Längenänderungen der verschiedenen Muskeln nach der Verschiebung der Gewichte genau bestimmen. Die Verkürzungen der Muskeln sind proportional den virtuellen Hebelarmen der Muskeln mit Bezug auf die jeweilige Drehungsachse. (Man kann übrigens auch jede beliebige andere Drehungsebene, die zu einer bestimmten

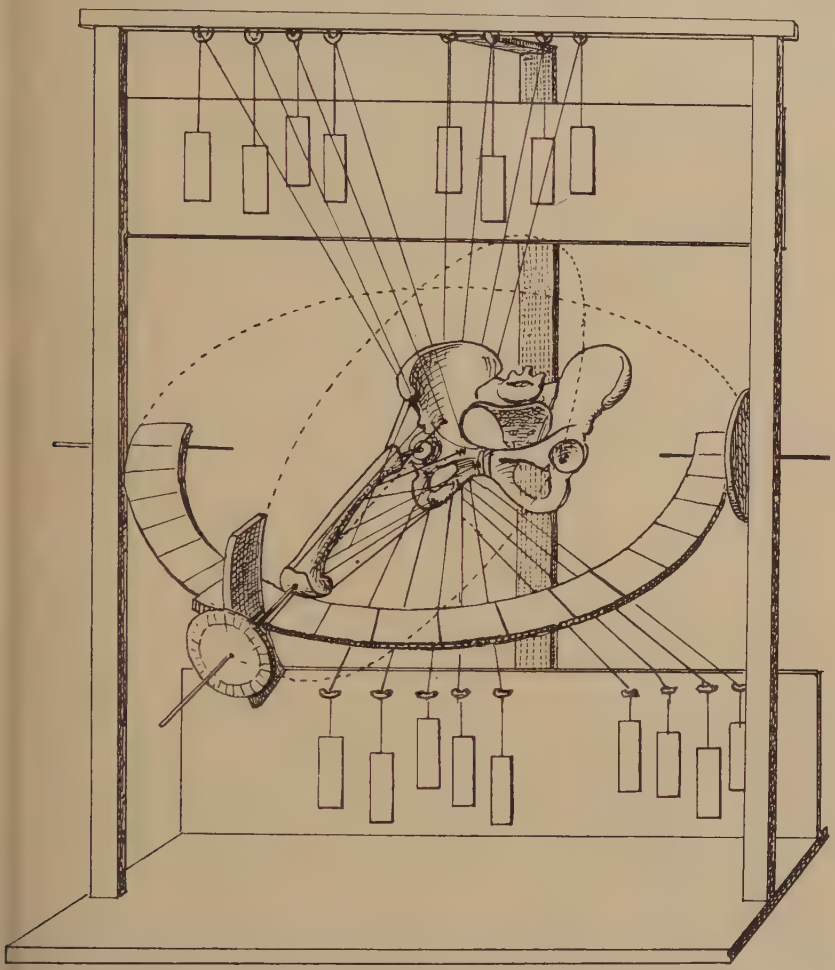


Fig. 28. Skelettmuskelphantom nach Straßer und Gaßmann.

Drehungsachse senkrecht steht, durch eine starre Platte markieren und zwei starr mit dem Femur verbundene Punkte ihr entlang führen, unter kleiner Winkeldrehung des Femur. Die hierbei gemessenen Verkürzungen der Muskeln sind ihren Abständen von der betreffenden Drehungsachse proportional.)

Wird ein solcher Apparat unter Benutzung eines frischen Präparates in allen Teilen auf das Sorgfältigste hergestellt, so stellt er ein vollständig zuverlässiges Hilfsmittel dar, um für die Spannung 1 die statischen Momente der verschiedenen Hüftgelenkmuskeln mit Bezug auf die Hauptachsen der Drehung, die für die verschiedensten Gelenkstellungen wechseln, zu ermitteln. Das Verfahren ist sehr einfach und muß in den Händen der verschiedensten Untersucher, wenn man sich nach den angegebenen Normen richtet, gut vergleichbare Resultate liefern. Dutzende von Präparaten könnten mit Hilfe derselben von einem oder mehreren Untersuchern in relativ kurzer Zeit durchgearbeitet werden.

Nach dieser Methode und mit Hilfe eines solchen Rahmenwerkes habe ich bereits Ende der 70er Jahre die Drehungsmomente der Schultermuskeln beim Vogel bestimmt, und zwar zunächst für 3 zum Thorax feststehende Achsen (1878, His' Arch.), dann auch für die jeweilige Längsachse, die meridionale und die senkrecht zum Meridian stehende Querachse (die Resultate wurden nicht veröffentlicht). Später habe ich mit Gaßmann diese Methode auf das Hüftgelenk des Menschen angewendet.

Zu einer vollständigen Bestimmung der absoluten Größe der statischen Momente in jedem einzelnen Fall gehört natürlich die Kenntnis der in jedem Muskel wirkenden Spannung (physiologischer Faktor). Durch anatomische Untersuchungen kann in dieser Hinsicht nur eine allgemeine Grundlage geschaffen werden, indem man die effektiven Muskelquerschnitte für die mittleren Längen der Muskeln bestimmt. Sie können als Maß für die in den verschiedenen Muskeln zur Disposition stehende mittlere oder maximale Muskelkraft gelten.

Der Vollständigkeit halber sei zum Schluß noch auf eine Untersuchung von Roith über die Drehungsmomente der Hüftgelenkmuskeln verwiesen. In derselben ist bloß die Abänderung der adduktorischen Momente für die verschiedenen Stellungen im Meridian O bei mittlerer Längsrotationsstellung und die Abänderung der Flexions-Extensionsmomente in äquatorialen Stellungen bei mittlerer Längsrotationsstellung und Mittelstellung zwischen Ab- und Adduktion (wechselndem Meridian) berücksichtigt.

f) Das Globusmuskelphantom von Straßer und Gaßmann.

Vermittels eines beweglichen, um die gemeinsame Hüftgelenkachse drehbaren Rahmens hat Gaßmann nach meinen Vorschlägen die Diagramme der Radiärprojektionen der Ursprünge und Ansätze der Exkursionskugelfläche bestimmt und sie benutzt zur Konstruktion eines „Globusmuskelphantoms". Dasselbe ist von Wert um anschaulich zu machen, wie sich an allen Hüftgelenkmuskeln zugleich von Gelenkstellung zu Gelenkstellung die drehenden Einflüsse in bestimmter Weise verändern. Es besteht im wesentlichen:

a) Aus einem Globus, dessen Oberfläche die Exkursionskugelfläche des Kniegelenkendes darstellt und erstens die zum Becken feste Gradteilung derselben eingezeichnet enthält, zweitens die Radiärprojektionen der Ursprungsstellen der Hüftgelenkmuskeln.

b) Aus einer auf der Globusoberfläche verschieblichen, mit ihr in kongruenter Berührung stehenden Platte (Femurplatte), auf welche alle Ansatzpunkte der Hüftgelenkmuskeln in Radiärprojektion pro-

Fig. 29.

jiziert und fest eingezeichnet sind. Das so entstandene Diagramm ist für jede Stellung des Gelenkes dasselbe und ändert mit der Gelenkstellung seine Lage in der Exkursionskugelfläche nur als Ganzes. Durch Verschiebung der Femurplatte an der Oberfläche des Globus kann also die Radiärprojektion der Muskelansätze in der Exkursionskugelfläche für jede beliebige Gelenkstellung dargestellt werden.

Verbindet man die Projektionspunkte der Muskelinsertionen auf der Femurplatte mit den Projektionspunkten der Muskelursprünge am Globus durch Fäden, welche an den letztgenannten Punkten durch Ösen laufen und durch jenseits angehängte Gewichte gespannt werden, so verlaufen diese Fäden im allgemeinen auf kürzestem Wege in größten Kreisen zwischen den Projektionen der korrespondierenden Ursprungs- und Insertionspunkte; die ihnen entsprechenden größten Kreisebenen markieren für jede beliebige Gelenkstellung die Kraftebenen der entsprechenden Muskeln.

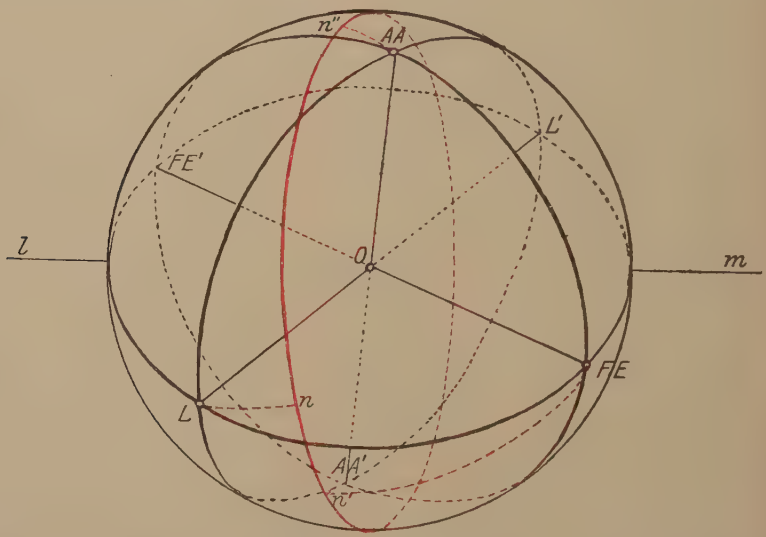


Fig. 30. Zur Bestimmung der statischen Momente am Globusmuskelphantom.

Man kann sich vorstellen, daß alle in größten Kreislinien der Globusoberfläche verlaufenden Fäden Muskeln entsprechen, welche für die wirklichen Muskeln substituiert sind und jeweilen in der gleichen Kraftebene wie der korrespondierende wirkliche Muskel und alle im gleichen Abstand vom Gelenkmittelpunkt wirken. Setzt man in allen Fäden die Spannung = 1, und den Radius des Globus (die Länge des Femur) ebenfalls = 1, so repräsentieren sie die Einheit der statischen Momente der betreffenden Muskeln mit Bezug auf die Gelenkachse, welche zu ihrer Kraftebene senkrecht steht. Die wirkliche absolute Größe der statischen Momente der Muskeln mit Bezug auf diese Drehungsachse geht aus der Konstruktion nicht hervor und muß erst noch ermittelt werden (s. u.); wohl aber läßt sich für jeden einzelnen Muskel mit Leichtigkeit ermitteln, nach welcher Proportion sich seine drehende Einwirkung in drei Drehungseinwirkungen um die drei Hauptachsen der betreffenden Gelenkstellung zerlegt.

In der Abbildung der Exkursionskugelfläche (Fig. 30) sei für eine bestimmte elenkstellung L die Lage des Kniepunktes; der größte Kreis L F E L' sei der eridian des Kniepunktes; L A A L' A A' sei der circumzentrale Flexions - Exnsionskreis desselben. Die Punkte A A und A A' sowie F E und F E' seien n 90° resp. $^1/_4$ des Umfanges der beiden Meridiane von L entfernt, so ist der durch E und A A gehende Kreis die größte Kreisebene, welche zur Längslinie o L des emur senkrecht steht, und parallel welcher die Längsrotation des Femur in der treffenden Gelenkstellung vor sich gehen muß. Die Gerade FE FE' ist die ehse der circumzentralen Flexion-Extension, A A A A' die Achse der Ab-Adiktion. Der rotfarbige Kreisbogen sei die Radiärprojektion der Zugrichtung es Muskels k. Es lassen sich nun leicht die Bogenabstände ermitteln zwischen esem größten Kreisbogen und den näher gelegenen Polen der drei Hauptachsen. e entsprechen den Winkeln, welche die drei Achsen mit der Kraftebene bil- n. Die Winkel, welche die Längsachse des Femur, die Ab-Adduktionsachse d die Flexions-Extensionsachse mit der Kraftebene bilden, seien α, β und γ, so rhalten sich die statischen Momente der Fadenspannung k, resp. der Spannung des substituierten Muskels mit Bezug auf die drei Achsen wie $\sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$.

Mit Hilfe eines metallenen Bandmaßes sind die Punkte n, n' und n'', sowie kürzesten Abstände derselben von den benachbarten Polen der drei Hauptchsen mit Leichtigkeit zu bestimmen.

Das Sanitätsgeschäft F. Schenk in Bern liefert nach den Angaben von raßer und Gaßmann das beschriebene Globusmuskelphantom in gefälliger sführung (Fig. 29). Die Femurplatte läßt sich durch einen Handgriff abheben d in eine beliebige neue Stellung überführen, welche durch die Lage des Knieunktes im Gradnetz und durch die Richtung der Epikondylenlinie charakterisiert . Die Fäden, welche den verschiedenen Muskeln entsprechen, sind in ihren rch Gewichte gespannten Teilen nebeneinander aufgereiht und übersichtlich zeichnet. Der Vorzug des Phantoms besteht darin, daß für jede bestimmte ellung die Lage der Kraftebenen der verschiedenen Muskeln und das Verhältnis r drehenden Einflüsse jedes einzelnen Muskels mit Bezug auf die drei Hauptchsen der Drehung klar und übersichtlich zutage tritt.

Die von Gaßmann mit großer Sorgfalt ermittelten Befunde verdienen sondere Beachtung, um so mehr, als sie bis jetzt die einzigen Daten sind, die h auf eine größere Anzahl von Stellungen erstrecken und für die von uns rgeschlagene Zerlegung des Drehungseinflusses in Betracht kommen.

Um aus den Daten von Gaßmann auch die absolute Größe des resulerenden Drehungseinflusses der verschiedenen Muskeln vergleichen können, muß noch bekannt sein, wie viele Einheiten des Drehungsmomentes jedem substituierten Muskel zur Verfügung stehen. Für die Mittelstellung Gelenk habe ich dies nachträglich wenigstens annäherungsweise bestimmen nnen. Straßer und Gaßmann haben für diese Stellung die wirklichen Abände der Muskeln vom Gelenkmittelpunkt gemessen und berechnet, um wieviel r Abstand des substituierten Muskels in der Exkursionskugelfläche länger ist. r der Abstand des Kniepunktes, h der Abstand des wirklichen Muskels vom Genkmittelpunkt und L die Länge des wirklichen Muskels, so ist λ = Länge des bstituierten Muskels $= L \cdot \frac{r}{h}$. Der Querschnitt q des substituierten Muskels er ist umgekehrt $= Q \cdot \frac{h}{r}$, wobei Q den effektiven Querschnitt des wirkhen Muskels bedeutet. Unter L und Q sind natürlich die effektiven Längen nd Querschnitte verstanden.

In der folgenden Tabelle sind in der zweiten Kolonne die Verhältniszahlen $\frac{r}{h}$ geben. Die dritte Hauptkolonne enthält links die effektiven Querschnitte ch neuerdings von mir angestellten, allerdings noch nicht sehr genauen Mesngen. Die Zahlen rechts in der gleichen Hauptkolonne sind die von Roschestwenski und R. Fick neuerdings an einem größeren Material gefundenen ittleren Querschnittswerte („physiologischer Querschnitt"). Die vierte Kolonne

gibt die nach meinen Maßen berechneten Querschnitte der substituierten Muskeln und damit die Anzahl der in jedem Muskel zur Verfügung stehenden Einheiten des Drehungsmomentes.

Muskel	Verhältniszahl $\frac{r}{h}$	Querschnitte in qcm nach Straßer	Roschd. u. Fick	Querschnitt des substituierten Muskels
Quadratus, obere Portion	10	14,4	6	1,56 qcm
„ untere Portion	7			
Obturator externus, oberer Teil	15	—	7,5	
„ „ unterer Teil	11			
Adductor magnus, oberer Teil	8	47,5	30	7,9 „
„ „ unterer Teil	4			
Pectineus	10	—	6	—
Adductor brevis	5	6,9	7	1,38 „
Adductor longus	5	13,8	9	2,76 „
Gracilis	4	4,2	3,7	1,05 „
Rectus	8	30,0	26	3,75 „
Iliopsoas, lateraler Teil	12	(19,2)	16	1,6 „
„ medialer Teil	12	19,2	13	1,6 „
Sartorius	(10)	2,4	3,5	(0,24) „
Obturator internus und Gemelli	13	(10,2)	8,5	0,78 „
Piriformis, oberer Teil	14	(10,8)	5	0,8 „
„ unterer Teil	13			
Glutaeus minimus, vorderer Teil	7	(20,0)	15	2,28 „
„ „ hinterer Teil	13			
Glutaeus medius, vorderer Teil	7	(33,0)	40	4,0 „
„ „ hinterer Teil	10			
Biceps longus	7	(14)	12	2,0 „
Semitendinosus	5	(7)	7,5	1,4 „
Semimembranosus	5	(24,0)	25	4,8 „
Glutaeus maximus, vorderer Teil	14	64,2	60	5,14 „
„ „ mittlerer Teil	11			
„ „ hinterer Teil	—			
Tensor fasciae latae	5	9,0	8	1,8 „

g) Zerlegung der resultierenden Drehungsmomente nach den drei Hauptachsen (graphische Darstellung).

Fig. 31 gibt die Zerlegung der Einheit des Drehungsmomentes der verschiedenen Hüftgelenkmuskeln für die Mittelstellung nach Straßer und Gaßmann; die beiden Hauptdurchmesser des Kreises repräsentieren den Meridian und Parallelkreis des Kniepunktes. Das lineäre Maß für die Spannung 1 des Muskelfadens entspricht dem Halbmesser des Kreises; der Anteil dieser Spannung zur Radialdrehung des Femur um eine Querachse ist durch einen radiären Pfeil dargestellt; seine Richtung gibt die Richtung der Kraftebene, welche natürlich senkrecht zur Bildfläche steht; es ist leicht zu ersehen, wieviel davon zur Ab- oder Adduktion und wieviel zur circumzentralen, reinen Flexion oder Extension wirkt. Die tangentialen Pfeile geben den Anteil der Spannung des Muskelfadens, der zur Drehung um die Längsachse wirkt in einer Entfernung von letzterer, welche dem Radius der Exkursions-

ugel entspricht. Man kann sich diese Komponente tangential zu dem-enigen größten Kreis angreifend denken, der zur Längsachse senkrecht

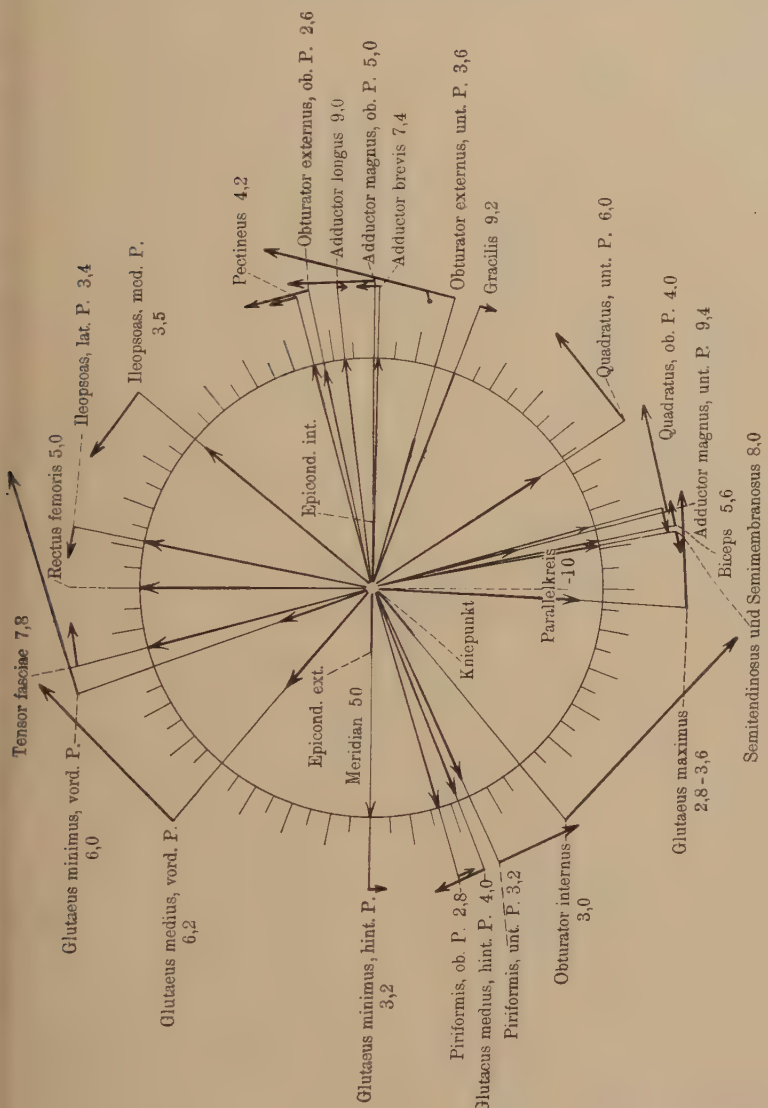


Fig. 31. Mittelstellung.

cht (natürlich in einem mit dem Femur starr verbunden gedachten ngriffspunkt). Würde man die Größen der verschiedenen Kraft-omente mit dem Maß des idealen Querschnittes des substituierten

Muskels (s. vorige Tabelle) multiplizieren, so hätte man Größen, welche den zur Verfügung stehenden Drehungsmomenten der betreffenden Muskeln proportional sind.

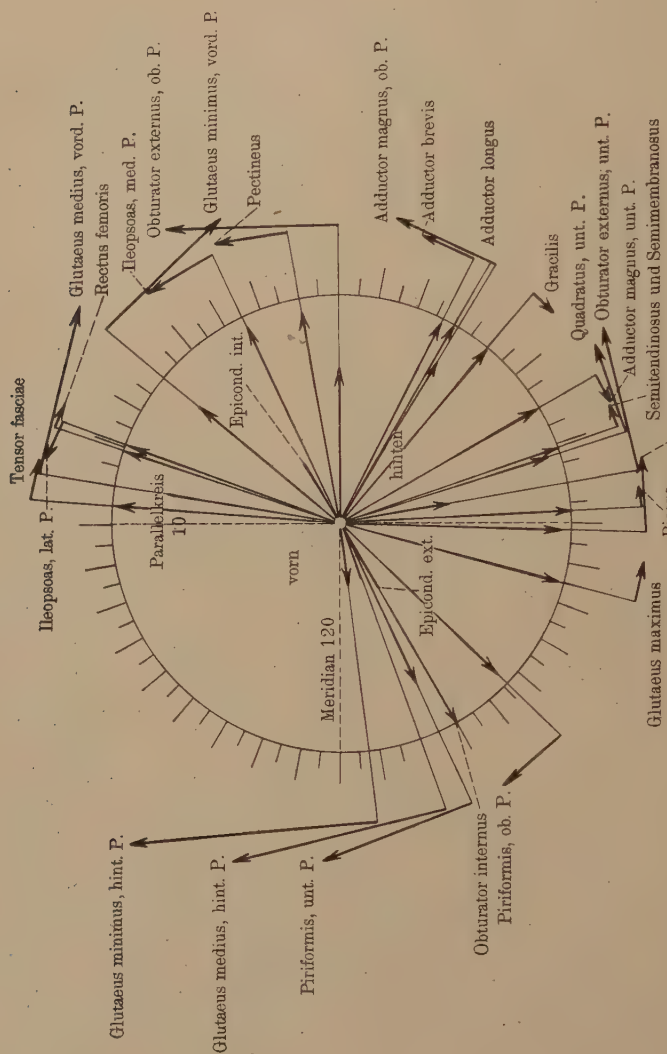


Fig. 32. Extreme Flexionsstellung.

Ähnliche Tafeln sind von Straßer und Gaßmann für die extreme Flexionsstellung, ferner für die extreme Adduktions- und für die extreme Abduktionsstellung (in mittlerer Hebestellung) ge-

eben worden. Wir reproduzieren dieselben hier in den Figg. 32—34. ine etwas kompliziertere Tafel der Autoren illustriert die Verhältsse in der Grundstellung. Ich gebe im folgenden (Fig. 35) nun

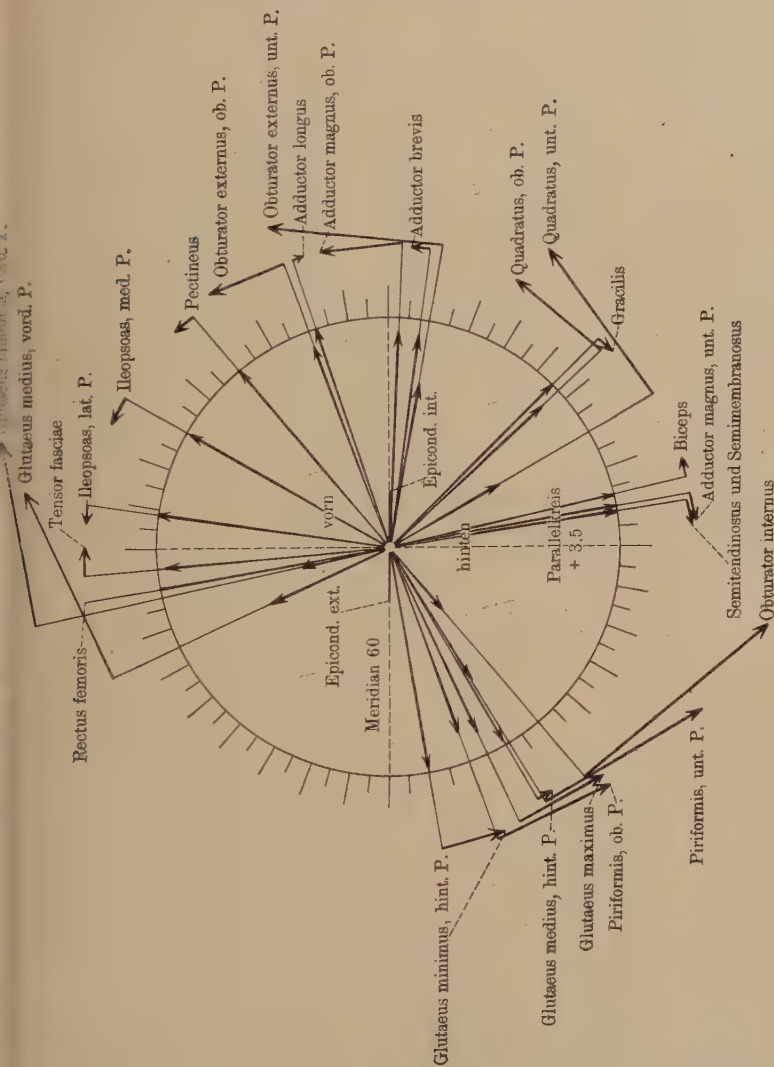


Fig. 33. Extreme Adduktionsstellung.

uch für die letztere eine Darstellung in ähnlicher Form wie für die Mittelstellung (nach den Angaben der Tabelle S. 62 von Straßer und aßmann). Die Verhältniszahl $\frac{r}{h}$ ist natürlich für jede dieser Stelungen etwas verschieden.

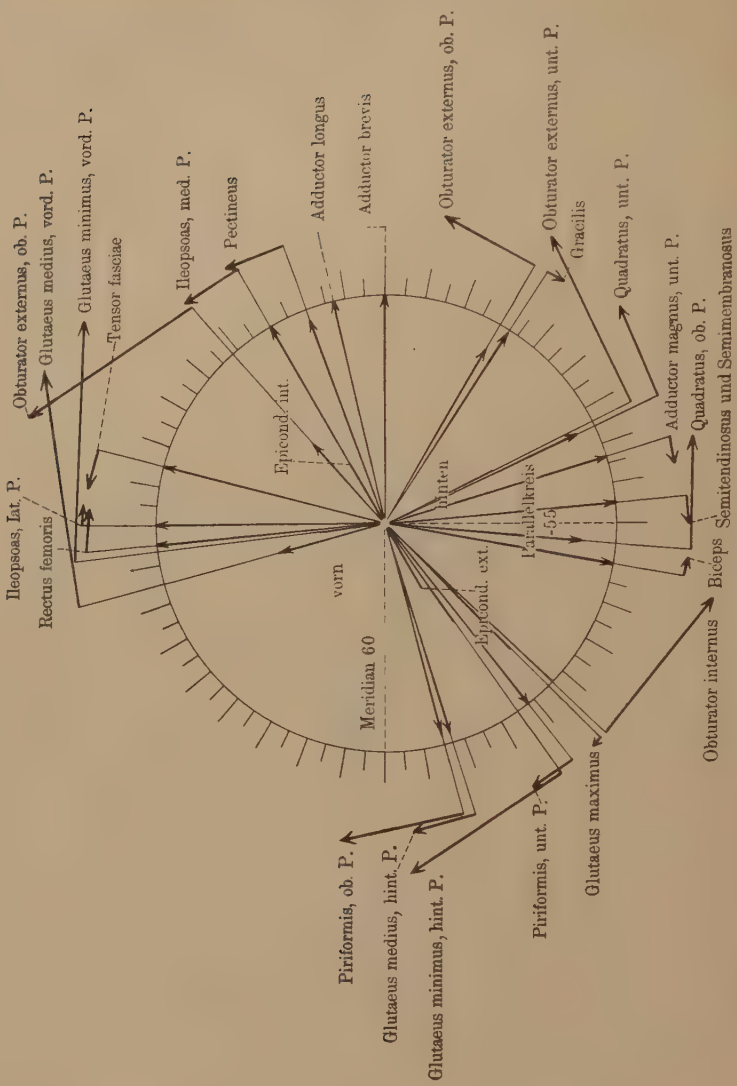


Fig. 34. Extreme Abduktionsstellung.

h) Einfaches Verfahren zur Bestimmung des Drehungseinflusses der Hüftgelenkmuskeln bei den verschiedenen Gelenkstellungen.

Die Ausführlichkeit der vorangehenden Darstellung rechtfertigt sich aus dem Bestreben, den bisher von verschiedenen Forschern mit außerordentlichem Fleiß ausgeführten genaueren Messungen zur Bestimmung des Drehungseinflusses der Hüftgelenkmuskeln gerecht zu werden und sie, obschon sie nach verschiedenen Prinzipien ausgeführt worden sind,

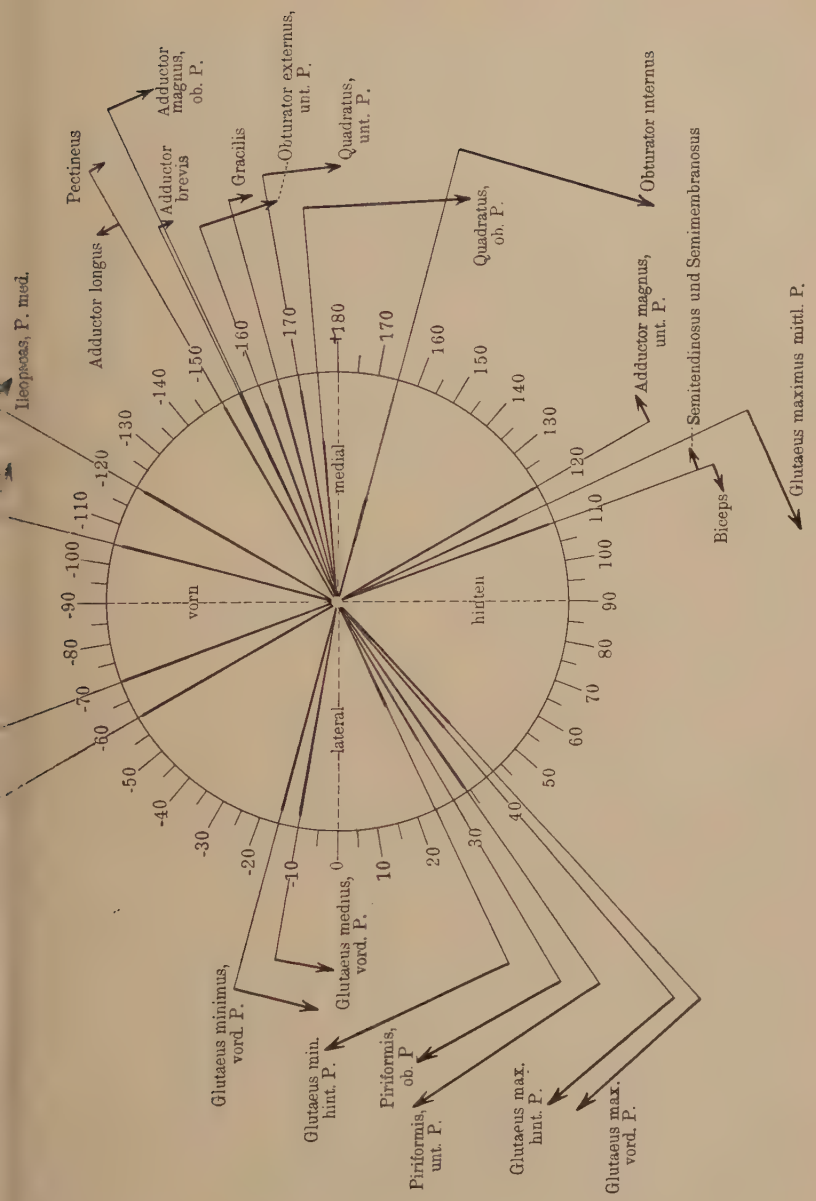


Fig. 35. Grundstellung.

niteinander einigermaßen in Zusammenhang zu bringen, auch wo mög-
ch eine einheitliche Behandlung der Frage für die Zukunft anzubahnen.
Man darf nun aber nicht glauben, daß sich ein Urteil über die Wir-

kungsweise der Muskeln nur auf so komplizierten Wegen und mittels unendlicher Zahlenreihen gewinnen läßt. Zu einer approximativ richtigen Beurteilung gelangt man auch auf einfachere Weise, und zwar für jede beliebige Gelenkstellung, was von besonderer Bedeutung ist. Es hat in der Tat wenig praktischen Wert, für wenige ausgewählte Gelenkstellungen den drehenden Einfluß der verschiedenen Muskeln (ihrer Spannungseinheit) mit Bezug auf drei Achsen bis auf Dezimalstellen genau anzugeben, wo die Fehlerquellen so groß und alle andern Gelenkstellungen ebenso wichtig sind. Lehrbücher vermögen hier auch nicht erschöpfend zu informieren. Ihre Angaben, wenn sie sich auf eine einzige Stellung beschränken, schaden vielleicht mehr als sie nützen.

Um nun im gegebenen Falle für eine bestimmte Stellung über die Wirkungsweise der Muskeln ins klare zu kommen, ist notwendig, daß man am Skelett oder, wenn tunlich, an einem Skelettphantom (mit Rahmenwerk) die in Frage kommende Stellung nachahmt und sich dann über den Verlauf der Muskeln zwischen ihren Ansatzpunkten jeweilen Rechenschaft zu geben versucht. Ein Muskelskelettphantom, an welchem die Muskelzuglinien ersichtlich sind, ist natürlich eine willkommene Beihilfe, insbesondere da, wo Muskelpräparate nicht zur Verfügung stehen, z. B. in Kliniken.

Der richtige Ort, um sich positive Kenntnisse über die Muskelwirkungen, soweit sie von den geometrischen Verhältnissen abhängen, vor allem aber um sich Übung in der Beurteilung der Muskelwirkung zu verschaffen, ist der Präpariersaal.

Die Prüfung der einzelnen Muskeln der Hüfte auf ihre drehende Einwirkung kann hier vorgenommen werden, nachdem alle Muskeln des Hüftgelenkes präpariert und im Interesse der freien Beweglichkeit des Oberschenkels durchgeschnitten, aber in ihren Ursprungs- und Ansatzteilen noch deutlich sichtbar sind. Es sollte dafür gesorgt werden, daß das Becken festgestellt, der Oberschenkel aber in verschiedene Stellungen zum Becken gebracht und in diesen Stellungen nach Bedürfnis fixiert werden kann.

Man sucht nun die Kraftebene des zu untersuchenden Muskels zu bestimmen, markiert sie in möglichst genauer Weise durch die Fläche der Hand, ein Blatt Papier oder Karton oder ein ebenes Blechstück u. dgl. und gibt sich Rechenschaft über ihre Richtung zu den drei Hauptachsen der betreffenden Gelenkstellung. Besonders wichtig aber ist es, die drei Hauptebenen der Drehung für diese Stellung aufzusuchen und die Zugrichtung des Muskels auf dieselben zu projizieren. Man wird ohne große Schwierigkeit die beiden mit der Femurlängslinie zusammenfallenden Drehungsebenen, von denen die eine (meridional) durch die beiden Hüftgelenkmitten geht (Ab-Adduktionsebene), die andere senkrecht dazu gerichtet ist (Flexions-Extensionsebene), ermitteln können. Denkt man sich ein bestimmtes Längenstück der Zugrichtung als Maß für die Spannung des Muskels und repräsentiert dasselbe durch ein Stäbchen von bestimmter Länge, so läßt sich auch ziemlich genau die Projektion dieses Längenstückes auf jede der drei

rehungsebenen ausführen und kann man ihre Lage zur Drehungs-
hse, ihren Abstand von derselben und ihre Länge beurteilen. Der
stand von der Achse gibt den Hebelarm des entsprechenden Dre-
ngsmomentes, die Größe der Projektion ein Maß für die in Betracht
mmende Kraftkomponente. In gleicher Weise läßt sich übrigens
ch der Drehungseinfluß irgend einer anderen exaxialen Kraft, z. B.
ner äußeren Kraft, etwa der Schwere beurteilen, wenn man ihren
ngriffspunkt und ihre Richtung kennt. Ein Skelettphantom mit
nem Rahmenwerk zur Bestimmung der Lage der Drehungsebenen
d Drehungsachsen sollte im Präpariersaal nicht fehlen.

;) Abänderung des geometrischen Faktors mit der Stellungsänderung.

Was die Abänderung des Kraftmomentes eines Muskels mit Bezug
f eine bestimmte Achse, bei stattfindender Drehung um diese Achse
trifft, so lassen sich gewisse allgemeine Regeln aufstellen. Es kommt
rbei nur die Projektion der Muskelzugrichtung auf die betreffende

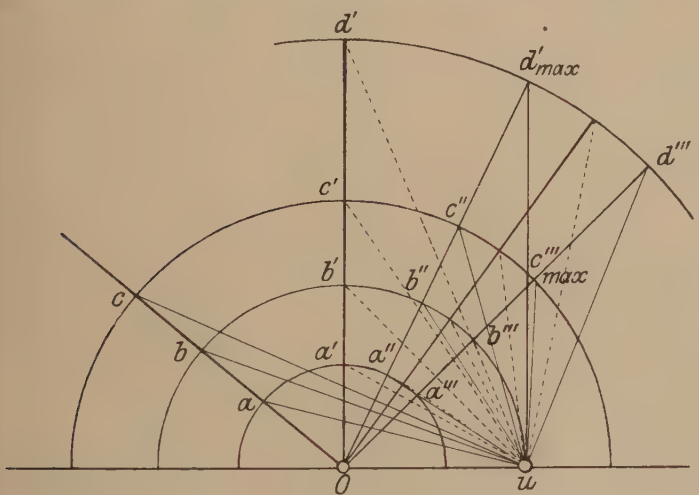


Fig. 36.

rehungsebene in Betracht. Wir nehmen an, die Zugrichtung ent-
reche der geraden Verbindungslinie des Ursprungs- und des Ansatz-
nktes des Muskels. Ist in Fig. 36 u die Projektion des Ursprungs-
nktes auf die Drehungsebene, o der Schnittpunkt der letzteren mit
r Achse, sind a, b, c, resp. a′, b′, c′ etc. die Projektionen verschie-
n weit von o entfernter Ansatzpunkte in aufeinander folgenden
tellungen, so sind die Verbindungslinien dieser Punkte mit u die
tsprechenden Projektionen der Muskelkraftlinien. Die Linie ou be-
ichnen wir als Hebelarm des Ursprungspunktes, die Geraden
a, ob, oc, oa′, ob′, oc′ etc. als Hebelarme der Insertionspunkte.

Ist der Hebelarm des Ursprungspunktes ou gleich dem Hebelarm des Ansatzpunktes (ob, ob′, ob″ usw.), so verkleinert sich der Winkel φ zwischen dem Hebelarm des Ursprungspunktes und demjenigen des Ansatzpunktes, je mehr letzterer sich der Streckstellung (Fortsetzung der Linie ou) nähert; er vergrößert sich bei der Beugung, erreicht aber ein Maximum von 90° erst wenn der Hebelarm des Ansatzpunktes mit dem Hebelarm des Ursprungspunktes zusammenfällt und der Winkel $\varphi = 0$ ist. Dann hat auch die (auf 0 verkürzte) Kraftlinie des Muskels ihren größten Abstand von der Drehungsachse. Es vergrößert sich also das Kraftmoment des Muskels, soweit es sich nur um den geometrischen Faktor handelt, bis zum Schluß der Beugung.

Anders liegen die Verhältnisse bei ungleicher Länge der Hebelarme des Insertions- und des Ansatzpunktes. Hier kann die Kraftlinie nur zum kleineren der beiden Hebelarme senkrecht stehen,

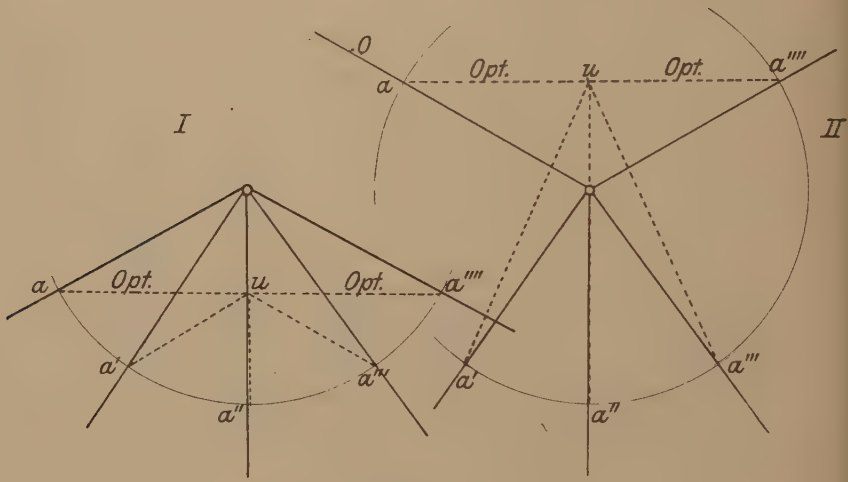


Fig. 37.

und zwar nur bei einem ganz bestimmten Wert von φ zwischen 0 und 90°. Fig. 36 zeigt diesen Fall für oa (= Hebelarm des Ansatzpunktes) < ou bei der Stellung oa″, und für oc resp. od (Hebelarm des Ansatzpunktes) > ou in den Stellungen $oc'''_{max.}$ und $od'_{max.}$. Die Kraftlinien haben in diesen Stellungen das Maximum des Abstandes von o. Sowohl bei Beugung als bei Streckung aus dieser Stellung verkleinert sich der Abstand der Kraftlinien von der Achse indem sie sich schräg zum Hebelarm des Insertionspunktes stellen. Das statische Moment verkleinert sich, soweit es sich um den geometrischen Faktor handelt.

Daraus ergibt sich, daß ein Maximum des Drehungsmomentes nur bei $\varphi < 90°$, also bei spitzwinkliger Stellung des Ursprungs- zum Ansatzhebel vorhanden sein kann. Je mehr die beiden Hebel einander an Länge gleich sind, desto kleiner ist für die Stellung der beiden Hebelarme, welcher

as größte Drehungsmoment zukommt, der Winkel φ; je ungleicher die eiden Hebelarme sind, desto mehr nähert sich diese Stellung einer echtwinkeligen.

Schon A. Fick hat in seiner medizinischen Physik auf die Abhängigkeit der Größe des Drehungsmomentes von der Winkelstellung der eiden im Gelenk verbundenen Körper aufmerksam gemacht. Im vorergehenden glaube ich das Verhältnis möglichst einfach und allgemein ormuliert zu haben.

Kann sich der eine Hebelarm durch die maximale (absolute) Beugeellung, bei welcher er mit dem anderen zusammenfällt (Fig. 37 I), oder urch die absolute Streckstellung, bei welcher er mit ihm einen Winkel von 30° bildet, und in welcher o zwischen dem Ursprung und Ansatz des uskels liegt (Fig. 37 II), nach der anderen Seite hinüberdrehen, so haben ir im allgemeinen zwei optimale Stellungen, was den Hebelarm des rehungsmomentes betrifft, beide für zwei Winkel φ und $-\varphi$, die kleiner nd als 90°; nur für oa = ou würden die beiden Stellungen zusammenallen und würde das Optimum des geometrischen Faktors des Kraftomentes erst in der absoluten Beugestellung erreicht sein. Das gleiche ürde für das ganze Kraftmoment gelten, wenn die Spannung des Muskels jeder Phase der Verkürzung dieselbe bleibt. Vermindert sie sich mit zuehmender Verkürzung, so sind die beiden genannten, aus den Lageeränderungen sich ergebenden Verhältnisse imstande, das Drehungsoment mehr konstant zu halten, bis zum Augenblick, wo die Kraftnie zum kleineren Hebelarm senkrecht steht. Bei weiterer Drehung nd Muskelverkürzung müßte allerdings das Kraftmoment um so rascher erkleinert werden.

Überschreitet der eine Hebelarm die Linie des anderen in der Beugeder in der Streckstellung, so muß in beiden Fällen die Bedingung eines „toten Punktes" gegeben sein, in welchem das Drehungsmoment = 0 st. Zugleich schlägt der Sinn der drehenden Einwirkung beim Passieren ieses Punktes (durch den Wert 0 hindurch) in den entgegengesetzten m. Beide Fälle, das Überschreiten eines toten Punktes durch die Streckstellung der beiden Hebelarme und durch die absolute Beugestellung indurch, sind am Hüftgelenk verwirklicht, der erstere Fall beispielsweise ür die vorderen Fasern des M. glutaeus maximus bei der Vorführung des Beines um eine horizontale frontale Achse, der zweite Fall für die orderen Teile des Adductor magnus bei der Vorführung des Beines. m ersten Fall liegt bei der Überschreitung des toten Punktes das Gelenk wischen dem Ursprung und Ansatz des Muskels, im zweiten Fall agegen liegt der Muskelursprung zwischen dem Muskelansatz und dem elenk.

β) Kinetische Aufgaben.

1. Drehbeschleunigungen und Drehungsebene.

Für den einfachen Fall der Bewegung, in welchem der Gelenkmittelpunkt eststeht (in dem Raumsystem des Beckens, auf welches auch die Anfangslage es Femur und die Kraftebene bezogen sind), das Femur aber die freie Möglichkeit

der Drehung um den Gelenkmittelpunkt besitzt, erfolgt im allgemeinen die von einer Kraft (oder der Resultierenden mehrerer Kräfte) am Femur hervorgerufene Drehbeschleunigung parallel der Kraftebene, um die senkrecht zu ihr stehende Gelenkachse. Doch gilt solches genau genommen nur für den Fall, daß der Schwerpunkt der sich drehenden Masse in die Kraftebene entfällt. Ist solches nicht der Fall, so muß man sich das statische Moment zerlegt denken in ein Teilmoment, das sich auf die Verbindungslinie des Gelenkmittelpunktes mit dem Schwerpunkt als Achse bezieht, und in ein zweites Moment gegenüber einer Gelenkachse, welche zu der ersten senkrecht steht in der Ebene, welche durch diese erste Achse geht und die Kraftlinie senkrecht schneidet.

Für diese zwei Achsen sind nun die Trägheitsmomente verschieden; im allgemeinen wird das Trägheitsmoment um die Schwerpunktachse erheblich kleiner sein. Die Winkelbeschleunigungen (s. Allg. Teil S. 67) sind deshalb nicht den statischen Momenten proportional, vielmehr ist relativ die Beschleunigung der Drehung um die Schwerpunktachse um so größer, je weiter der Schwerpunkt aus der Kraftebene herausgerückt ist. Die Achse der resultierenden Drehbeschleunigung weicht also aus der Richtung senkrecht zur Kraftebene in entsprechender Weise nach dem Schwerpunkt zu ab. Natürlich hat man diese Verhältnisse nur ein einziges Mal, bei der Ermittelung der Drehungsrichtung infolge der Resultierenden aller Kräfte zu berücksichtigen; für die gewöhnliche Analyse der Muskelwirkung am Hüftgelenk kann man füglich davon absehen, um so mehr, als auch in der Reibung im Gelenk ein unbekannter und je nach der Richtung der Achse (zum Schwerpunkt) variierter Faktor gegeben ist. Nur dann, wenn es sich um die Bewegung des im Knie gebeugten Beines handelt, oder wenn gar noch weit außerhalb der Oberschenkelachse eine fremde Masse angehängt ist, muß den Verhältnissen der Trägheitsmomente größere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

2. Das Arbeitsvermögen der Hüftgelenkmuskeln.

In welcher Weise die Muskeln des Hüftgelenkes zu bestimmten Aktionen zusammenwirken, und nach welchen Gesichtspunkten dabei die äußeren Kräften gegenüber geleistete nützliche Arbeit zu beurteilen ist, soll später erörtert werden. Die Arbeitsleistung des einzelnen Muskels bemißt sich in einzelnen kleinen Zeitteilchen einer Gelenkbewegung, beim Lebenden aus der Größe seiner Spannung und aus seiner Verkürzung, beides in der Zugrichtung genommen. Die genaue Kenntnis des anatomischen Baues (der „Konfiguration") und seiner Abänderung bei bestimmten Bewegungen genügt natürlich nicht zur Beurteilung der Arbeitsleistung: es fehlt dazu noch die Kenntnis der in jedem einzelnen Augenblick in den einzelnen Muskeln herrschenden Spannungen. Indessen kann die anatomische Untersuchung unter zu Hilfenahme gewisser Voraussetzungen über die absolute Muskelkraft einigermaßen Aufschluß geben über die mittleren und maximalen Spannungen, deren der einzelne Muskel fähig ist. Weiterhin läßt sich dann auch beurteilen, welche Arbeit der Muskel mit maximaler oder mittlerer Spannung leistet bei seiner größtmöglichen Längenänderung oder bei der bestimmten Längenänderung, die einer bestimmten Stellungsänderung im Gelenk entspricht.

E. Fick (1876) hat für einen Teil der Hüftmuskeln die Verkürzung gemessen, welche sie bei maximaler sagittaler Bewegung des Femur durch die Grundstellung hindurch im Betrage von 120° und bei maximaler Bewegung in der Frontalebene durch die Grundstellung (Ab-Adduktion) im Betrage von 37° erfahren, und R. Fick hat die dabei stattfindende

Arbeitsleistung berechnet unter Zugrundelegung der Querschnittsmasse von E. Fick und unter Annahme einer konstanten mittleren Maximalspannung von 10 kg pro Quadratzentimeter.

Die frontale Bewegung durch die Grundstellung (Ab-Adduktion im Meridian 40° nach unserer Bezeichnung) entspricht aber, wie Fig. 18 lehrt, nicht der maximalen möglichen Ab-Adduktion, welche ja durch die Mittelstellung hindurchgeht und den Betrag von ungefähr 90° erreicht. Die gewonnenen Zahlen geben also keinen richtigen Vergleich für das Verhalten der Muskeln bei zwei senkrecht zueinander stehenden Hauptexkursionen im Gelenk. Wir verzichten deshalb auf die Wiedergabe dieser Zahlen. Übrigens ist für die Arbeitsbestimmung die Bemessung der mittleren Maximalspannung in der Zugrichtung des Muskels nach dem größten Querschnitt desselben (E. Fick) im allgemeinen, wenn es sich nicht um rein längsfaserige Muskeln handelt, nicht völlig korrekt, so wenig wie bei der Berechnung der Drehungsmomente.

Dagegen stellen wir zum Schluß aus der Untersuchung von Roschdestwenski und Fick folgende Angaben über die Querschnittsmaße der Hüftgelenkmuskeln (physiologischer Querschnitt, Mittelwerte aus 10 mit der Holzgabel gemessenen Präparaten), über ihre mittlere Faserlänge und über die größte Längenänderung (am Muskelskelettphantom gemessen) zusammen:

Muskel	Physiol. Querschnitt in qcm	Mittlere Faserlänge in cm	Größte Längenänderung bei gebeugtem Knie		bei gestrecktem Knie
Iliacus	16,0	13,0	10,6		
Psoas	13,0				
Rectus	26,0	8,0	9,6		
Sartorius	3,5	45,0	18,0		
Tensor fasciae	8,0	12,5	19,1		
Pectineus	6,0	10,5		12,5	
Adductor longus	9,0	11,0		15,8	
„ brevis	7,0	10,5		16,5	
„ magnus, obere Hälfte	15,0	10,0		16,3	
„ magnus, unt. Hälfte	15,0	19,2		12,2	
Gracilis	3,7	26,0	15,0		
Glutaeus maximus	60,0	16,0	obere Hälfte	13,2	
			unt. „	16,0	
Glutaeus medius	40,0	7,0	obere Hälfte	11,4	
			unt. „	11,2	
Glutaeus minimus	15,0	6,0	vord. Hälfte	9,0	
			hint. „	8,8	
Piriformis	5,0	5,5		10,1	
Obturator internus	7,0	6,0		6,9	
Gemelli	1,5				
Obturator externus	7,5	5,8		7,6	
Quadratus femoris	6,0	7,0		8,2	
Biceps caput lg.	12,0	10,0	17,6		13,3
Semitendinosus	7,5	20,0	18,2		14,1
Semimembranosus	25,0	8,0	15,8		9,0

E. Zusammenfassung der Beobachtungen über die Wirkungsweise der einzelnen Hüftgelenkmuskeln.

α) Vorbemerkungen.

Im folgenden versuchen wir, die Hauptergebnisse der Beobachtungen über die Wirkungsweise der einzelnen Hüftmuskeln in den Hauptstellungen des Gelenkes und den Sinn der Abänderung ihrer Wirkungsweise bei bestimmter Stellungsänderung des Gelenkes in Worten zusammenzufassen.

Als Grundlage für diese Zusammenfassung dienen vor allem die von Straßer und Gaßmann gewonnenen Ergebnisse, sowie dasjenige, was sich nach der im vorigen erläuterten vereinfachten Methode der Betrachtung am Muskelpräparat hat ermitteln lassen. Ferner sind mitberücksichtigt Beobachtungen, die am Lebenden unter normalen Verhältnissen und bei künstlicher Reizung und die bei Lähmung einzelner Muskeln angestellt worden sind. In letzterer Hinsicht ist besonders auf die ausgezeichnete Behandlung des Gegenstandes durch Duchenne [1]) hinzuweisen. Duchenne hat durch Beobachtungen am Lebenden, durch elektrische Reizung (Faradisation) und durch Studium der bei Atrophie der Muskeln auftretenden Veränderungen der Stellung und Bewegung des Oberschenkels die Wirkungsweise der einzelnen Hüftgelenkmuskeln zu ermitteln gesucht. Seine Ergebnisse stehen gerade hier im allgemeinen in guter Übereinstimmung mit dem auf geometrischem Wege Erschlossenen und ergänzen dasselbe in vorzüglicher Weise.

In prinzipieller Hinsicht muß allerdings betont werden, daß selbst die gelungensten Reizungsversuche einzelner Muskeln niemals völlig rein die Wirkungsweise dieser Muskeln aufzudecken vermögen, indem es sich bei derartigen Experimenten und Beobachtungen nicht um sehr kleine Drehungen, sondern um größere Bewegungen handelt, bei denen sich die Lagen, Richtungen und Spannungsverhältnisse aller übrigen Muskeln gleichzeitig erheblich ändern. Auch der Einfluß der Schwere erfährt dabei eine Abänderung.

In der folgenden Darstellung sind der Kürze halber die Femurstellungen öfters durch die Gradnummer des Meridians M, und durch die Gradnummer des Parallelkreises P, in denen sich der Kniepunkt befindet, bezeichnet. Die vor der Längsebene des kleinen Beckens (Cristae laterales) befindlichen Meridiane haben positives Vorzeichen und sind von dem durch die Mitte der Sitzhöcker gehenden Meridian aus numeriert. Letzterer befindet sich ca. 40° hinter dem Meridian der Grundstellung. Die Parallelkreise sind nach innen und außen hin vom Äquator

[1]) G. B. Duchenne, Physiologie der Bewegungen nach elektrischen Versuchen und klinischen Beobachtungen mit Anwendungen auf das Studium der Lähmungen und Entstellungen. 1866. Übersetzt von C. Wernicke 1885. S. 261 bis 308.

r Exkursionskugel aus numeriert; die inneren oder Adduktionskreise sind mit d. die äußeren oder Adduktionskreise mit P_{ab} bezeichnet; R bedeutet den inkel, den der innere Schenkel der Epikondylenlinie mit dem Meridian des Kniektes bildet, und zwar soll der im Fall der Auswärtsrotation oben am Meridian legene Winkel mit R_a, der im Fall der Einwärtsrotation unten am Meridian legene Winkel mit R_e bezeichnet werden.

Hauptachsen der Drehung sind für jede Stellung: die Längsachse für Längsrotation, die sagittale (quer zum Femur stehende) Querachse für Ab-Adduktion und die meridionale Querachse für die circumzentrale exion-Extension.

β) Die Adduktoren.

Ab- und Adduktion (sagittale Querachse).

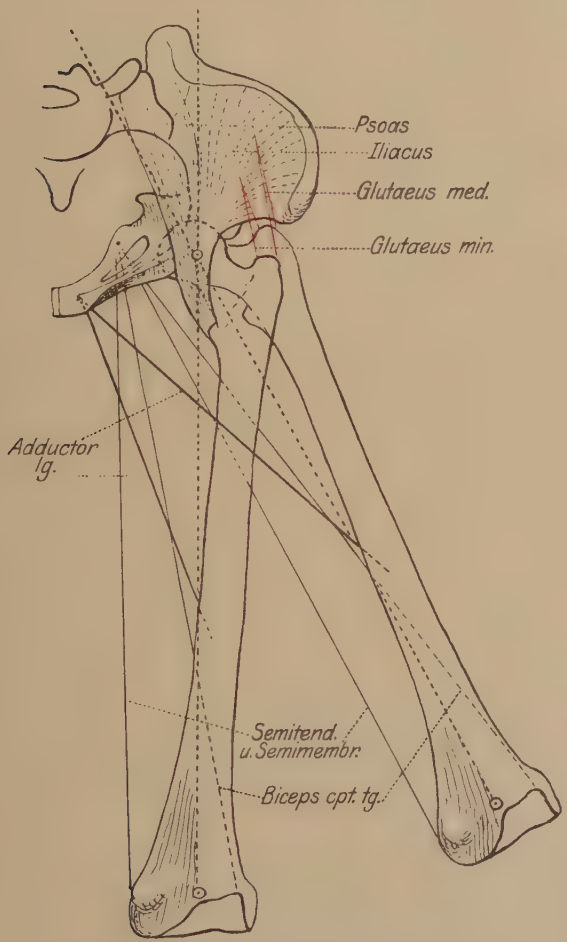


Fig. 38. Ab-Adduktion: Abduktoren, Iliopsoas.

Alle Ursprünge der Adduktoren im weiteren Sinne des Wortes, mit Ausnahme des Quadratus femoris liegen unterhalb einer beim gewöhnlichen geraden aufrechten Stand durch den Gelenkmittelpunkt gehenden Horizontalebene. Alle ziehen in dieser Körperhaltung unter der quer zum Femur verlaufenden sagittalen Gelenkachse, die beim aufrechten geraden Stand horizontal steht, vorbei, mehr oder weniger nach außen absteigend zum Femur, wirken also adduktorisch.

Bei der Erhebung des Femur (im Äquator) in höhere vordere Meridiane (Beugung) senkt sich die sagittale Querachse hinten (s. u. Fig. 39, rot, 1'—5') und nähert sich den hinteren Muskeln der Gruppe. Die Ansatzpunkte der Muskeln bewegen sich nach vorn, die Kraftebenen der hinteren Muskeln stellen sich mehr sagittal: ihr adduktorisches Moment wird kleiner; die Kraftebenen der vorderen Muskeln dagegen stellen sich mehr frontal: ihr adduktorisches Moment nimmt zunächst zu. Schließlich erreicht die sagittale Achse hinten den Quadratus und dringt in denselben ein: das adduktorische Moment dieses Muskels verschwindet und wandelt sich dann, oben beginnend in ein abduktorisches um. Bei stärkster Beugung wird auch das adduktorische Moment des Adductor magnus stark verringert. Doch bleibt die Ab-Adduktionsachse bis zuletzt an der Außenseite des Muskels.

Für irgend einen bestimmten Meridian bewirkt eine Abänderung der Ab-Adduktionsstellung keine Änderung der Lage der sagittalen Achse. Aber mit der Abduktion vergrößert sich im allgemeinen der Winkel zwischen dem Insertionsradius und dem Ursprungsradius der verschiedenen Muskeln; die Kraftlinie der letzteren stellt sich mehr senkrecht zum Ursprungsradius; die Muskeln rücken also zunächst vom Gelenkmittelpunkt ab, ihr adduktorisches Moment wird größer. Das Optimum ist erreicht, wenn die Kraftlinie und der Ursprungsradius rechtwinklig zueinander stehen. Die Längsrotation ändert an der adduktorischen Wirkung nicht viel (Fig. 38).

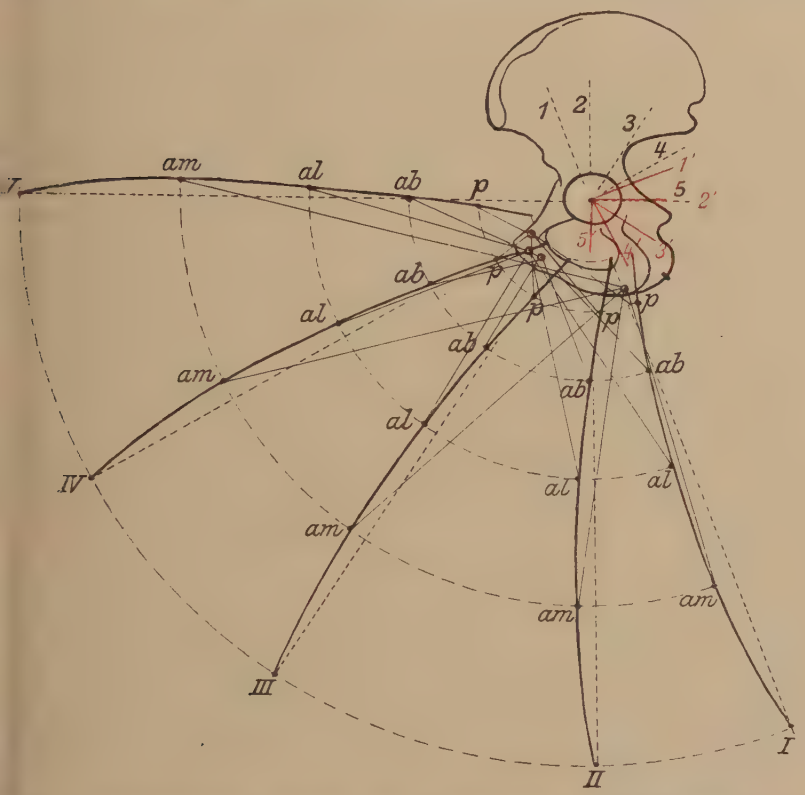
Flexion-Extension (meridionale Querachse).

Die meridionale Querachse verläuft in der Grundstellung, wo sie horizontal steht, über der Mitte des Ursprungsfeldes der ganzen Gruppe von innen nach außen. Die vorderen Muskeln verlaufen unter derselben rückwärts zum Femur, die hinteren Muskeln umgekehrt unter ihr vorbei vorwärts. Die hinteren Anteile der Gruppe sind Extensoren, die vorderen Flexoren. Schon Duchenne stellte fest, daß der Pectineus und Adductor brevis (von der Grundstellung aus) beugen. Der Adductor magnus zieht nach ihm den Oberschenkel direkt nach innen. Fig. 39 zeigt, daß auch der Adductor longus und brevis und der Gracilis in der Grundstellung Flexoren sind.

Bei der Vorführung oder Rückführung des Beines parallel der Mittelebene wird an der Lage der Achse nichts geändert. Aber während die proximalen Fortsetzungen der Kraftlinien der vorderen Muskeln bei den Streckstellungen vor der Achse vorbeigehen, nähern sie sich bei der Vorführung des Beines der Achse, und fallen schließlich in dieselbe

tellung IV, Fig. 39). Hier ist dann für die drehende Wirkung um diese hse ein „toter Punkt" gegeben; bei weiterer Vorführung des Beines hen die Kraftlinien hinter der Achse vorbei, die flektorische Wirkung nun in eine extensorische verwandelt, die zunimmt, indem die Kraftnen sich (in der seitlichen Projektion) zu dem Ursprungsradius immer hr senkrecht stellen.

Ganz analog, nur umgekehrt, verhalten sich die hinten entspringenden uskeln. Ihre extensorische Wirkung vermindert sich bei der Rück-



g. 39. Diagramm zur Erklärung der Wirkungsweise der Adduktoren bei der exion-Extension. *I—V*. Fünf verschiedene Femurstellungen. *1—5* die entrechenden Lagen der Längsachse. *1—5* rot; die entsprechenden Lagen der gittalen Ab-Adduktionsachse. *P* Pectineus, *ab* Adductor brevis, *al* Adductor longus, *am* Adductor magnus.

hrung des Beines. Je weiter hinten die Muskeln entspringen (bei eicher Ansatzstelle), desto größere Rückführung des Beines ist notendig, damit der extensorische Einfluß in einen flektorischen umgeandelt wird. So hat z. B. der vorn entspringende Gracilis seinen toten nkt bei $M = 30 + 40^0$, der Adductor brevis bei $M = 50 + 40^0$, der

Adductor longus bei M = 60 + 40°, der Pectineus bei einer noch höheren Beugestellung.

Bei der Adduktion folgt die meridionale Querachse der Drehung der Längsachse im Meridian. Mit der Annäherung des inneren Schenkels der Achse an die ventrale Facette des Hüft- und Leistenbeins (Ischiopubicum) von hinten her vermindert sich das flektorische Moment der an dieser Facette entspringenden Muskeln. Auch die Flexion und Extension wird durch die Änderung der Längsrotationsstellung nicht stark beeinflußt.

Längsrotation (Längsachse).

Was die Längsrotation betrifft, so ist zu berücksichtigen, daß die Ansatzlinie der Adduktoren am Femur nach oben zu mehr und mehr von der Längsachse des Femur nach außen abweicht; in der Mitte liegt sie zugleich wegen der Ausbiegung des Femurschaftes vor derselben; oben weicht sie gegenüber derselben nach hinten zurück. Deshalb gehen im allgemeinen die höher oben am Femur sich ansetzenden und nicht allzuweit vorn am Leistenbein entspringenden Muskeln der Gruppe hinter der Längsachse vorbei zum Femurmittelstück und wirken auswärtsrotatorisch. Ein ganz besonders kräftiger Auswärtsrotator ist der Obturator externus, aber auch der Quadratus. Das auswärtsrotatorische Moment der obigen Muskeln vergrößert sich anfänglich bei der Auswärtsrotation, ebenso wie bei der Flexion und auch bei der Adduktion. Der hinten entspringende Adductor magnus, der tiefer am Femur ansetzt, hat dagegen einen geringen einwärtsrotierenden Einfluß, was nach Duchenne von großer Bedeutung ist für die Beinhaltung (Schluß) beim Reiten.

Musculus quadratus femoris.

In der Grundstellung hat der Quadratus eine stark auswärtsrotierende und adduzierende und eine sehr schwach flektierende Wirkungskomponenete, letzteres, weil die Kraftebene des Muskels mit der Flexionsachse einen viel kleineren Winkel bildet als mit den beiden anderen Achsen. Immerhin geht die Zugrichtung deutlich schräg nach hinten unter der erstgenannten Achse durch vom Ursprung zum Ansatz.

Das flektierende Moment geht aber schon bei geringer Beugung des Femur in ein extendierendes über, das bei weiterer Beugung größer wird. Dabei nimmt für die oberen Fasern das adduzierende Moment ab und wird zuletzt = 0, da sich der hintere Schenkel der sagittalen Querachse diesen Fasern und ihrer Kraftebene immer mehr nähert (Straßer und Gaßmann).

γ) Der Musculus rectus femoris.

Dieser Muskel ist bei tiefen Stellungen des Oberschenkels wesentlich Beuger des Hüftgelenkes. Für den Ursprung seiner Sehne steht die

anze obere Peripherie des Pfannenrandes resp. des Kapselursprunges ir Disposition. Bei gesenktem Oberschenkel setzt sich der Zug des uskels in der Längsrichtung des Beines wesentlich nach oben gegen e Spina ant. inf. fort, bei gebeugtem Oberschenkel aber gegen weiter ckwärts liegende Teile des oberen Pfannenrandes. So kommt es hier ir Ausbildung zweier Ursprungssehnenzipfel.

Bezüglich der gleichzeitigen Wirkung des Rectus auf das Knie- und if das Hüftgelenk (s. u. Figg. 44 und 49).

Nach Gaßmann hat der Muskel in der Grundstellung, in extremer oduktion und namentlich in extremer Extension eine deutliche ab-zierende, in extremer Flexionsstellung aber eine deutliche adduzierende irkung. Die Wirkung zur Längsrotation ist natürlich so gut wie 0.

δ) Iliopsoas und Sartorius.

Der M. ilio-psoas (Fig. 38).

Dieser Muskel ist in allen Stellungen Beuger. Bezüglich seiner nwirkung gegenüber anderen Achsen bestehen verschiedene Meinungen. an muß sich vergegenwärtigen, daß er sich mit dem Rectus kreuzt d durch ihn vor dem Gelenkkopf etwas nach innen gedrängt wird, s am Muskelskelettphantom nicht zur Geltung kommt. Seine mitt-e Zugrichtung liegt also in der Grundstellung nicht bloß nach vorn, ndern auch etwas nach innen vom Gelenkmittelpunkt, und von der rderen Peripherie des Kopfes verläuft sie abwärts und zugleich deut-h nach rückwärts und etwas auswärts an der Femurlängsachse innen d hinten vorbei zu der nach hinten von der Achse gelegenen Ansatz-lle. Er wirkt wegen der Lage des Umbiegungspunktes, wenn auch r schwach, im Sinne der Auswärtsrotation, wie auch Duchenne ent-gen Winslow hervorhebt, mit einem Moment, das sich mit der Aus-rtsrotation zunächst vergrößert, bei der Einwärtsrotation verkleinert ber wohl nicht schließlich noch in das Gegenteil verkehrt, wie Gaß-ann angibt). Ferner hat er einen Einfluß zur Adduktion, der sich it der Beugung, Einwärtsrotation und Abduktion vergrößern soll Gaßmann, im Gegensatz zu Duchenne und A. Fick; doch gibt aßmann zu, daß vielleicht individuelle Unterschiede vorkommen).

Der M. sartorius.

Er ist vor allem Beuger des Hüftgelenkes; außerdem rotiert er was nach außen und abduziert. Diese Angaben sind in Übereinstim-ung mit denjenigen von R. Fick. Da der „Schneidermuskel" außer-m nur den Unterschenkel beugen und den gebeugten Unterschenkel nwärts rotieren hilft, so kann er nicht für sich allein den „Schneider-z", bei welchem die Oberschenkel adduziert und gekreuzt übereinander-legt sind, bewerkstelligen, wie der gleiche Autor mit Recht hervorhebt. ohl aber ist die für seine Verkürzung günstigste Stellung gegeben, nn der gebeugte Unterschenkel bei gehobenen Oberschenkeln mit

seiner Außenseite auf dem Knie des anderen Beines aufruht und wenn dabei der Unterschenkel noch einwärts rotiert ist. Wie bei anderen zweigelenkigen Muskeln des Beines, so ist auch bei diesem Muskel die gleichzeitige Wirkung auf das Hüft- und Kniegelenk (an ersterem zur Streckung, an letzterem zur Beugung) mit Bezug auf die Arbeitsleistung und auf die Erscheinungen der „Insuffizienz" noch eingehender zu berücksichtigen (s. u.).

ε) Tiefe hintere und äußere Muskeln der Hüfte.

In der Grundstellung geht die sagittale Querachse (Fig. 40, rot) von hinten nach vorn etwa über dem Endteil des Obturator internus vorbei; die meridionale Querachse schneidet den Ansatz der beiden Glutaei medius und minimus etwas vor der Mitte; die (vertikale) Längsachse trifft höher oben ungefähr die Mitte der beiden Muskeln.

Ab-Adduktion. Aus dem Verhalten der sagittalen Querachse folgt, daß in der Grundstellung der Obturator internus und wenigstens der untere der beiden Gemelli adduzieren, während der Piriformis und die beiden genannten Glutaei Abduktoren sind.

Bei äquatorialer Beugung senkt sich die sagittale Querachse hinten (s. u. Fig. 40, rot 1—4), so daß auch der Obturator internus und Gemellus inferior zu Abduktoren werden. Andererseits verkleinert sich das abduktorische Moment für den vorderen Randteil der Gruppe.

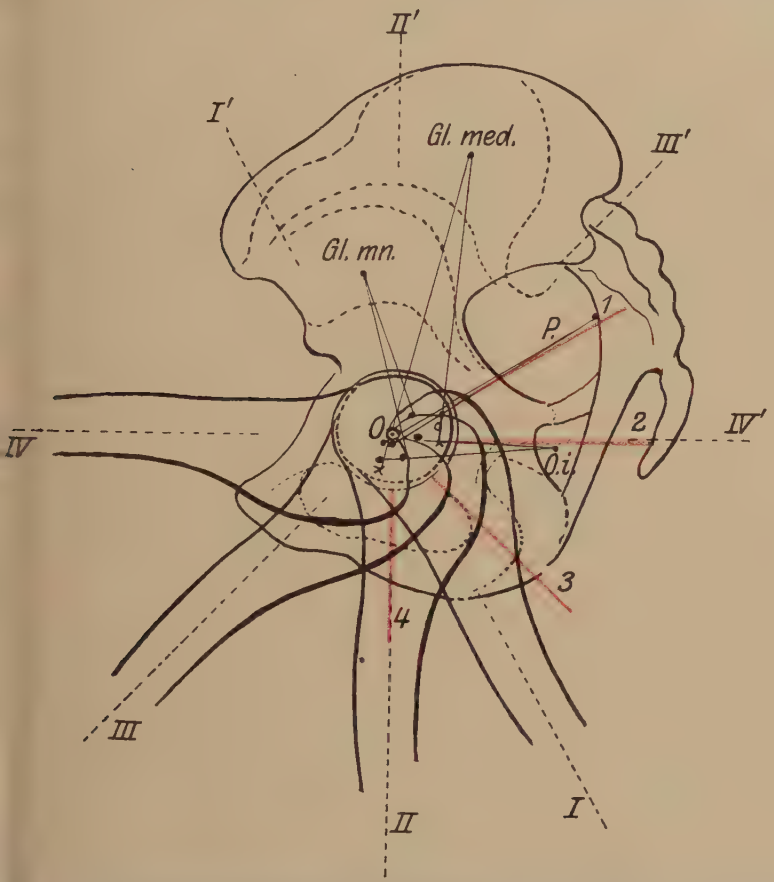
Der vordere Rand des Glutaeus minimus (verlängerte Kraftlinie) wird bei starker äquatorialer Beugung ($M = 40^0 + 80^0$, $P = 0$, $R = 0$) von der sagittalen Querachse erreicht und wird nun aus einem Abductor ein Adductor. Ähnlich, nur etwas später, geschieht solches mit dem vorderen Rand des Glutaeus medius; letzteres hatte schon Duchenne erkannt. Da bei der Adduktion die vordere Ansatzstelle der beiden Muskeln um die Sagittalachse unten oder vorn herum nach innen tritt, so erreicht der vordere Schenkel der sagittalen Querachse den Vorderrand des Glutaeus maximus früher, schon bei der Stellung $M = 40^0 + 60^0$, bei adduziertem Femur. Denselben Effekt hat Einwärtsrotation, durch welche der Ansatz der Muskeln vorn herum nach innen geführt wird.

Der Glutaeus medius und minimus (Fig. 40) sind (mit den vorderen Teilen des Glutaeus maximus) von besonderer Bedeutung für die seitliche Feststellung des Hüftgelenkes für den Fall, daß sich der Schwerpunkt des suprafemoralen freien Körperrestes nach oben und innen von der Hüftgelenkmitte befindet. Sind diese Muskeln gelähmt, so kann der Rumpf nur durch besondere Kunstgriffe mit seinem Schwerpunkt nach der Standbeinseite hinübergeworfen werden; gewöhnlich aber hängt das Becken an der Seite des freien Beines herab. Die Hüfte muß an dieser Seite nach außen durchgedrückt sein.

R. Fick unterscheidet bei seiner Besprechung der Wirkungsweise der einzelnen Muskeln die Bewegung um die horizontale mediano-laterale Achse (Beugung und Streckung oder Vor- und Rückführung), die Bewegung um die dorso-ventrale horizontale Achse (Seitenbewegung, Abziehung-Anziehung; Ab- und Adduktion) und die Rotation um die Längsachse. Da diese drei Achsen nur in der Grund-

lung senkrecht zueinander stehen, so versteht man, warum von R. Fick die kelwirkung, welche bei horizontal nach vorn gehobenem Oberschenkel den teren horizontal nach außen oder innen führt (unsere Ab- und Adduktion), lich unberücksichtigt gelassen wird.

Längsrotation. In der Grundstellung wirkt der vordere Teil der len tiefen Glutaei nicht bloß zur Flexion, sondern auch und zwar



40. *I—IV* Aufeinanderfolgende Beugestellungen. *I'—IV'* die entsprechenden n der Längsachse, *1—4* rot: die entsprechenden Lagen der sagittalen Quer- e, *Gl. mn.* Glutaeus minimus, *Gl. med.* Glutaeus medius, *P* Piriformis, *O. i.* Obturator internus.

nders kräftig (Duchenne) zur Einwärtsrotation, während die teren Teile beider Muskeln, sowie der Rest der Gruppe Extension Auswärtsrotation bewirken. Die neutrale Grenze für beides rückt der Beugung nach hinten, bei der Streckung nach vorn, wie sich tlich aus Fig. 40 ergibt. (Bei mittlerer Beugestellung tritt der ganze

Glutaeus minimus schon annähernd in einer Querebene des Beines von oben herüber zum Trochanter major.)

Der Piriformis bleibt trotz Einwärtsrotation in der Grundstellung Auswärtsrotator. In der Seitenansicht stellt er sich schon bei der Mittelstellung parallel zur Längsachse des Femur ein und fällt mit ihr zusammen. Er hat dann keine längsrotierende Wirkung. Da sich die Längsachse des Femur in den genannten Muskeln bei der Beugung stark von vorn nach hinten verschiebt, namentlich bei gleichzeitig adduziertem Bein, so nähert sich schließlich auch das auswärtsrotierende Moment des Obturator internus (und der Gemelli) dem Werte 0; der Piriformis aber wird zum deutlichen Einwärtsrotator.

Duchenne hat darauf aufmerksam gemacht, daß die hinteren Muskeln, die sonst auswärts rotieren, statt dessen eine Abduktion zustande bringen, wenn der Oberschenkel gebeugt und der Fuß dem Boden aufgesetzt ist. Dies ist so zu verstehen, daß unter solchen Umständen die reine Drehung um die Längsachse des Oberschenkels durch den Widerstand am Fuß gehindert ist und die abduzierende Wirkung stärker hervortritt; das Knie geht nach außen.

Flexion-Extension. Mit Bezug auf die meridionale Querachse (für Flexion-Extension) wirkt in der Grundstellung der vordere Teil der Muskelgruppe flektorisch, der hintere Teil extensorisch. Äquatoriale Beugung, ebenso wie Ab- und Adduktion ändern daran nicht viel, da jene Achse für $R = 0$ ihre Lage zum Femur beibehält und den Muskel nahe dem Ansatz trifft. Dagegen rückt die Achse bei Auswärtsrotation am Trochanter major nach vorn, bei Einwärtsrotation nach hinten. Im ersten Fall werden auch die vorderen Teile der beiden Glutaei mehr und mehr zu Extensoren, im zweiten Fall dehnt sich der flektorische Anteil nach hinten aus. Letzteres geschieht auch bei der Einwärtsrotation. Doch wird der M. piriformis niemals zum Beuger.

ζ) Mm. semimembranosus, semitendinosus und langer Kopf des Biceps.

Sie wirken am Hüftgelenk in der Grundstellung extendierend und in etwas geringerem Maße adduzierend. Beim Biceps kann auch noch ein kleiner auswärtsrotatorischer Einfluß konstatiert werden. Einen ungefähr ebenso großen Einfluß zur Einwärtsrotation haben zusammen der Semimembranosus und Semitendinosus. Der adduktorische Einfluß wächst bei Abduktion, der extendierende Einfluß bei der Beugung so lange sich die Muskelzugrichtungen zu dem rückwärts (einwärts) abnehmenden Ursprungsradius besser senkrecht stellen, was bei der Abduktion und im Anfang der Beugung der Fall ist. Bei sehr starker Adduktion geht der adduzierende Einfluß in einen abduzierenden über.

Der extendierende Einfluß vermindert sich ähnlich wie bei den hinteren Adduktoren bei starker Streckung und bei starker Beugung, weil die Kraftlinie sich in beiden Fällen mehr und mehr schräg statt senkrecht zur Richtung des Ursprungsradius einstellt. Er bleibt aber auch bei stärkster Extension bestehen (Fig. 39). Dagegen senkt sich bei starker Beugung der hintere Schenkel der sagittalen Achse gegen das

er und verläuft zuletzt außen an ihm vorbei nach vorn. Schließlich er, namentlich bei etwas abduziertem Oberschenkel und früher beim ps als bei den beiden anderen Muskeln durch deren Kraftlinien hin-h an ihre Vorderseite, so daß sich auch hierdurch das adduktorische ment in ein abduktorisches umwandelt.

Glutaeus maximus und Tensor fasciae latae.

Glutaeus maximus (Fig. 41).

In der Grundstellung steigt die Längsachse des Femur vor dem kel vertikal empor, die sagittale Querachse verläuft dabei horizontal den am Lig. tuberoso-sacrum entspringenden Fasern nach rück-s; die meridionale Querachse geht horizontal an der vorderen en Ecke des Trochanter major vorbei durch den vorderen Rand des nenfeldes des Muskels nach außen.

Längsrotation. Der Muskel ist demnach in der Grundstellung und o mehr in Extensionsstellungen Auswärtsroller des Femur mit allen n Fasern (von geringer Kraft nach Duchenne). Bei $M = 40^0 + 50^0$, 0^0, $R = 0^0$ wird die auswärtsrotierende Wirkung der oberen Fasern 0, bei weiterer äquatorialer Beugung wird der Muskel vom vorderen d aus mehr und mehr zum Einwärtsrotator.

Durch die Abduktion wird die einwärtsrotierende Wirkung bei der ung im oberen Rand, wenigstens im Anfang, noch vermehrt, ebenso den Rest des Muskels die auswärtsrotierende Einwirkung.

Ab-Adduktion. In der Grundstellung ist der hintere Randteil des kels ein Adductor, der ganze übrige größere Anteil aber wirkt ab-orisch. (Duchenne konnte weder einen ab- noch einen adduk-chen Einfluß finden.) Bei äquatorialer Beugung aber senkt sich agittale Querachse hinten und hebt sich vorn, so daß mehr und r auch der hintere Teil des Muskels zum Abductor wird.

Ist das eine Bein vom Boden abgehoben, so wirkt für die rein seit-e Feststellung des Hüftgelenkes des Standbeines der Glutaeus imus mit seinem vorderen Teile nur mit, wenn die Hüfte nach der des Standbeines durchgedrückt ist, der hintere Rand bleibt dabei aff. Befindet sich die Hüfte des Standbeines in Abduktionsstellung durchaus nicht immer der Fall ist, wie R. Fick meint, vgl. unsere ben Bd. II, S. 317), so ist im Gegenteil der vordere Teil des kels erschlafft und der hintere Rand gespannt. Im übrigen ist klar, der hintere Teil des Muskels sich namentlich dann stärker spannt, n der Schwerpunkt des über dem Hüftgelenk gelegenen freien stückes nach vorn verlegt ist (durch Vorbeugung des Oberkörpers, ung der Arme oder des freien Beines nach vorn etc.).

Was R. Fick als Ab-Adduktion bezeichnet, ist in allen anderen Stellungen er Grundstellung und den Stellungen im untersten, durch unsere Polachse den Meridian etwas ganz anderes als das, was wir darunter verstehen, näm-eine frontale Bewegung um die sagittale horizontale (dorso-ventrale) Achse. orizontal nach vorn gehobenem Bein würde eine solche Ficksche Abduktion

nichts anderes sein als Einwärtsrotation, eine Ficksche Adduktion nichts anderes als Auswärtsrotation um eine Längsachse des Femur.

Flexion-Extension. In der Grundstellung wirken sozusagen sämtliche Fasern des Muskels extensorisch, auch im wesentlichen diejenigen, welche zum Maissiatschen Streifen gehen. Mit fortschreitender Beugung aber gehen die Insertionsstellen und die Kraftlinien des Muskels gegen den Trochanter major nach vorn. Sie beginnen schließlich vom vorderen Rand aus eine nach der anderen vorn an ihm vorbeizutreten (Fig. 41). Die oberen Fasern bekommen also bei weitergehender Beugung ein flektorisches Moment. Dasselbe nimmt namentlich bei Einwärtsrotation und Adduktion noch zu und breitet sich noch weiter aus.

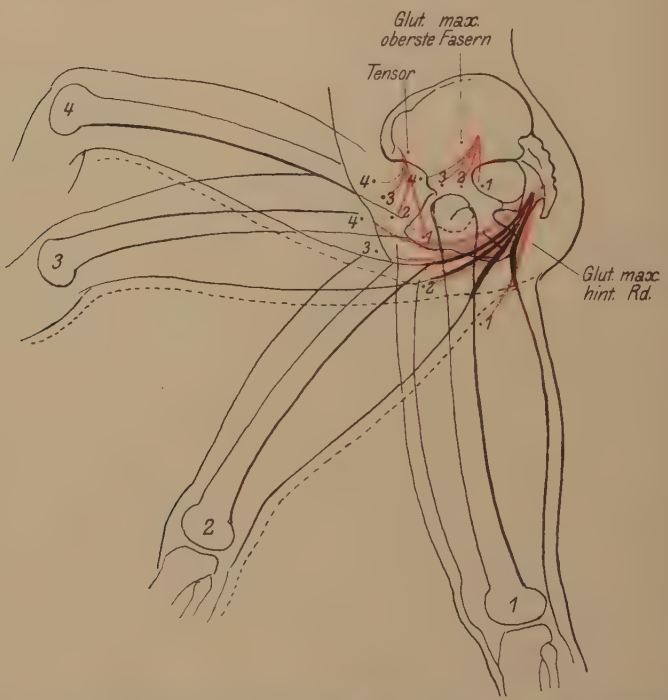


Fig. 41. Tensor fasciae und Glutaeus maximus (Beugung, Streckung).

Fig. 41 soll den Verlauf der Fasern des oberen und des hinteren unteren Muskelrandes bei verschiedenen Beugestellungen veranschaulichen. Ein oberflächlicher Faserzug des hinteren Randes ist durch ausgezogene rote Linien, ein mittlerer durch verdickte schwarze Linien, ein tiefster durch unterbrochene rote Linien dargestellt.

Die meisten Autoren scheinen einer gewissen Schwierigkeit bei der Erklärung der außerordentlichen Mächtigkeit des Glutaeus maximus zu begegnen, um so mehr, wenn sie annehmen, daß beim gewöhnlichen Stand der Schwerpunkt des suprafemoralen Körperabschnittes vertikal

er der gemeinsamen Hüftgelenkachse gelegen ist (Braune-Fischers rmalstellung), oder daß gemäß der Ansicht von H. v. Meyer dieser rperabschnitt in maximaler Streckstellung nach hinten gedreht sei t von den vorderen Bändern des Hüftgelenkes gehalten werde. Von chenne und neuerdings auch noch von R. Fick wird ferner angenommen, daß nicht nur beim gewöhnlichen Stand, sondern auch beim öhnlichen langsamen Gehen der Muskel in seinem hinteren Rande üig erschlafft bleibe, also wesentlich nur für die seitliche Feststellung Bedeutung sei. Eine stärkere Anspannung des ganzen Muskels mt bei dieser Auffassung, abgesehen von seiner Mitwirkung zur hohen Feststellung, nur in Frage für die Feststellung bei nach vorn legtem Schwerpunkt des suprafemoralen Oberstückes und beim hnellen Gehen, beim Laufen, Springen, Tanzen, Treppen- oder gsteigen oder beim Aufstehen aus sitzender Stellung". Demgegenr muß ich hervorheben, daß auch beim gewöhnlichen Gehen an diesem skel und besonders auch an seinem hinteren Rand nicht bloß eine tliche Verkürzung, sondern auch eine deutliche Zunahme seiner nnung nachweisbar ist, und daß die Hauptarbeit der Vorbegung auch bei langsamem Gehen mit annähernd gestrecktem Standn wesentlich im Hüftgelenk und vom großen Gesäßmuskel eistet wird, wie ich dies bereits 1880 (Über die Grundbedingungen aktiven Lokomotion) gezeigt habe (vgl. auch dieses Lehrbuch, Allg. l, S. 180 ff.). Daß sich die Aktion des Muskels mit der Energie der vegung und mit der Arbeit zur Aufrichtung des Oberkörpers steigert, selbstverständlich.

Von diesem Gesichtspunkt aus wird man verstehen, daß den hinteren skeln des Hüftgelenkes und dem Glutaeus maximus auch bei vierigen Tieren eine große Arbeit bei der Vorbewegung des Körpers ällt. Eine starke Entwickelung des Glutaeus maximus wird man aus n gleichen Grunde auch bei den anthropoiden Affen erwarten. Bei sen und dem Menschen, aber auch gewissen Tieren, bei welchen hintere Extremität das Hauptorgan der Fortbewegung ist, wird allerdings die Hüftgelenkmuskulatur in erhöhtem Maße in Anspruch ommen auch zur Äquilibrierung des Stammes bei vom Boden abobenen Schultergliedmaßen.

Der Querschnitt des ganzen M. glutaeus maximus beträgt nach den ssungen von Ed. Weber 66 qcm, was hier ziemlich genau dem effekn Querschnitt des Muskels entsprechen möchte.

Was die Mitwirkung des großen Gesäßmuskels bei „Bekämpfung gen Stuhldranges" betrifft, über welches verschiedene Autoren in veredener Weise sich geäußert haben, so möchten wir das Hauptgewicht auf die wirkung zur Vorhebung des Steißbeins und damit der ganzen hinteren Afterc legen (vgl. Allgem. Teil d. Lehrb., S. 50). Außerdem kann man an eine ausblende Innervation denken (s. auch Frohse und Fränkel, 1913, S. 460).

Tensor fasciae latae (Fig. 41).

Er ist Beuger, Einwärtsrotator und schwacher Adductor.

Die einwärtsrotatorische Wirkung nimmt ganz besonders zu bei der

Beugung. Mit dem vorderen Teil des Glutaeus minimus und mediu besorgt er hauptsächlich die Einwärtsrotation. Seine beugende Wirkun ist nicht beträchtlich. Duchenne gibt an, daß er mit dem Iliopsoa das Vorgehen des freien Beines bewirke und dabei die längsrotierend Wirkung des Iliopsoas aufhebe. Wie früher bereits Gerdy, so nimn auch Duchenne an, daß die Vorführung des freien Beines beim Gan durch aktive Muskeltätigkeit geschehe, was merkwürdigerweise auc heute noch nicht allgemein anerkannt ist, auf Grund der Autorität de Brüder Weber, welche das Bein einzig unter dem Einfluß der Schwe vorpendeln ließen.

Duchenne führt zum Beweis seiner Ansicht an, daß bei der Läh mung der Beuger der Gang unmöglich wird, was nicht der Fall sei b Lähmung der Strecker des Hüftgelenkes.

Bei der Vorführung des Beines wirken übrigens außer den zwei vo Duchenne genannten Muskeln noch eine Menge anderer Muskel (vordere Ränder des Glutaeus medius und minimus, vordere Part der Adduktorengruppe, Rectus femoris) mit. Auch bei Annahme eine aktiven Vorführung des Beines wird natürlich die Geschwindigkeit de Vorführung durch die Länge und Masse des Beines (Trägheitsmomen in erheblicher Weise beeinflußt. Die Beobachtungen der Brüde Weber über die Beziehung zwischen den Konfigurationsverhältnisse des Beines und der Schrittdauer und Schrittlänge stehen also nicht i Widerspruch mit einer solchen Annahme. (Vgl. H. Straßer, 188 Grundbedingungen, ferner O. Fischer.)

F. Bau und Einrichtung (Schlußpräparation des Hüftgelenkes.

α) Genaueres über die Gelenkkörper.

1. Das obere Gelenkende des Femur.

Das obere Gelenkende des Femur zeigt folgende Verhältnisse (Figg. 5 und 42): Der Schenkelhals ist, wie früher erläutert wurde, vo hinten (und etwas oben) und von vorn her abgeplattet, so daß ein obere quergerundeter Schmalrand vorhanden ist, welcher zum oberen Höcke der Linea obliqua femoris und zur vorderen oberen Ecke des Trochante major hinzieht, und ein unterer breiterer Schmalrand, der zwische dem Trochanter minor und dem Tuberculum inferius der Linea obliqu in den Femurschaft übergeht. Am unteren Schmalrand kommt ein vordere untere, gegen jenen Höcker, und eine schärfere hintere unter gegen den Trochanter minor hinziehende Längskante zur Ausprägun Durch Verdickung, namentlich an der Rückseite, nimmt der Halsque schnitt proximal eine mehr rundliche Gestalt an und erreicht so, unt geringerer oder größerer Schlußausladung, zuerst vorn oben und hinte etwas später erst unten die genügende Dicke, um die kugelförmig Gelenkfläche zu tragen.

Der Rand der überknorpelten Kopfgelenkfläche entspricht im ganzen
er Ebene, welche bei aufrechter Haltung von außen nach innen und
ch etwas von hinten nach vorn absteigt. Nach Henle bildet sie
: vertikal gestellter Femurlängslinie) medianwärts absteigend einen
nkel von 40° zum Horizont. Wir finden öfters einen etwas steileren
rlauf. Diese Ebene ist der Längsachse des Schenkelhalses oben und
n etwas zugeneigt. Der Rand der Kopfgelenkfläche ist aber un-
gelmäßig gestaltet und na-
ntlich 1. vorn oben und 2.
ten weiter distalwärts aus-
ackt (s. Fig. 42), gegen die
den oberen Kanten des Hal-
hin. In der Ebene der größ-
Verbreiterung des Schen-
halses liegt näher dem un-
en Rand der Gelenkfläche
unteren Drittel- oder Vier-
punkt des entsprechenden
ofiles der Gelenkfläche die
veola capitis für den An-
z des Lig. teres. Bei der
atomischen Ausgangsstellung
s Oberschenkels befindet sie
h am innersten Punkte der
lenkfläche (Fig. 2 C und 5).

Fig. 42. Abgetrennter Kopf des l. Femur, von außen.

Im allgemeinen hat die Ge-
kfläche in horizontaler Ebene den größten, in frontaler Ebene den
ingsten Umfang (10 — 11 gegen 7 — 8 cm in größten Kreislinien).

Im kleineren frontalen Umfang ist der Bogenwert der Gelenkfläche
s Kopfes kaum größer als 180°, im größeren horizontalen Umfang
er kann derselbe 30 und 40° mehr betragen.

Die Krümmung der überknorpelten Gelenkfläche ist im großen und
nzen diejenige einer Kugelfläche. Daß solches nicht mathematisch
nau zutrifft und daß individuelle Schwankungen vorkommen, ist
priori zu erwarten. Die Abweichungen von der Kugelgestalt gewinnen
er an Interesse, wenn sich nachweisen läßt, daß sie nach dem Alter
d Geschlecht, vielleicht auch je nach der Beschäftigung, daß sie ferner
im Menschen und bei verschiedenen Tierarten typisch verschieden
nd und mit der Art der Inanspruchnahme des Gelenkes in Zusammen-
ng stehen.

Aeby (1863) hat vorgeschlagen, von Sphäroidgelenken statt von Kugel-
enken zu sprechen. Es handle sich um Rotationsflächen, die man sich erzeugt
nken kann durch Rotation eines Kreisbogens um eine Achse, deren größter
stand vom Kreisbogen kleiner ist als der Krümmungsradius des letzteren.
. Schmid[1]) hat (1874) unter Aeby in einer sorgfältigen Untersuchung (Bestim-

[1]) Fr. Schmid, Zeitschr. f. Chir. 1874. V. Vergl. auch Chr. Aeby, Zeitschr. Chir. 1876. VI. 384.

mung der Profile durch angelegte Wachsplatten etc.) festgestellt, daß es sich in der Regel um ein schiefes Polsegment eines Rotationsellipsoides handelt, dessen große Achse im ganzen horizontal durch den Ansatz des Lig. teres geht. Denkt man sich die Gelenkfläche erzeugt durch Rotation eines Kreisbogens, welcher mit dieser Achse in gleicher Ebene liegt, um diese Achse, so beträgt der größte Krümmungshalbmesser des rotierenden Kreises oder Meridians bei 23 Femora von Erwachsenen im Mittel 26,5 mm (23,5—30,3), der größte (äquatoriale) Abstand des Meridians von der Achse aber ist nur 24,8 mm (21,8—28,5). Bei 15 Femurköpfen vom Weib waren die beiden Radien im Mittel 24,5 und 23 mm, bei 10 Femurköpfen vom Mann 27,5 und 26 mm.

Von besonderem Interesse aber ist, daß Schmid beim Neugeborenen das umgekehrte Verhältnis gefunden hat, nämlich einen Krümmungsradius von 6,0 für das Meridionalalprofil und einen solchen von 6,7 für das Äquatorialprofil. Beim dreijährigen Knaben war die Gelenkfläche genau kuglig, mit zunehmendem Alter zeigte sich von hier an eine weitere relative Verkleinerung des Krümmungsradius des äquatorialen Profils. Wohl mit Recht hat Schmid hierfür den bei der sagittalen Hauptbewegung (Beugung und Streckung) wechselnd sagittal gerichteten Einfluß der Belastung verantwortlich gemacht, der hemmend auf das Dickenwachstum des Kopfes einwirke. Bei Tieren (Kaninchen) tritt die gleichsinnige Abweichung von der Kugelgestalt oft noch deutlicher hervor.

Es sei hier gleich bemerkt, daß Schmid auch an der Pfanne (Wachsausgüsse) analoge Abweichung von der Kugelgestalt gefunden hat. Eine kleine Inkongruenz (Klaffen der Gelenkflächen) wird bei der Belastung im aufrechten Stand ausgeglichen. Daß hierbei etwas Synovia an der federnden Gelenklippe vorbei ausgepreßt werde, sei selbstverständlich, es könne aber umgekehrt auch beim Übergang aus dem belasteten in den unbelasteten Zustand im ersten Augenblick etwas Synovia zwischen Kopf und Pfanne und zwar von außen nach innen hindurchtreten, bis sich der Faserring fester an den Kopf anschließt.

Eine sehr sorgfältige Analyse der Gelenkform des Femurkopfes ist 1912 von R. Helwig (aus dem anatomischen Kabinett des medizinischen Fraueninstituts von Kiew) veröffentlicht worden. Als Hilfsmittel der Untersuchung kam neben der Anlegung von Sägeschnitten namentlich das optische Projektionsverfahren mit Vergrößerung der photographischen Aufnahmen in ausgedehntem Maße zur Anwendung. Die Untersuchung erstreckte sich auf 146 Gelenke verschiedenen Alters (vom embryonalen Zustand bis zum 77. Lebensjahre). Aus der Zusammenstellung der Ergebnisse heben wir folgendes hervor:

Die Untersuchung ergab, daß in der embryonalen Periode und in den ersten Lebensjahren die Gelenkform in frontaler Richtung verkürzt ist und die Form eines gedrängten Sphäroids darstellt; sie ist in dieser Richtung um so mehr verkürzt, je geringer das Alter ist. Im Alter von 3—6 Jahren steht das Gelenk in seiner Form der Kugel am nächsten. Alsdann behält es entweder diese Form bei fürs ganze Leben, oder aber, es dehnt sich noch weiter in frontaler Richtung aus, wodurch es in die Form eines Rotationsellipsoids übergeht. Letzteres erscheint bald weniger, bald mehr verlängert und steht deshalb entweder näher zur Kugel oder entfernt sich weiter von der Kugelform.

Das Rotationsellipsoid erreicht beim Menschen sogar in seinen am meisten verlängerten Formen nicht den Grad der Verlängerung, der bei Tieren bemerkbar ist. Das Verhältnis der Halbachsen des Ellipsoides ist beim Menschen im Mittel 1 : 1,04, in der am meisten verlängerten Form war es 1 : 1,09; bei Bos taurus wurde 1 : 1,22, bei Ovis aries 1 : 1,39 gefunden. Der Form des Ellipsoides begegnet man im allgemeinen beim Menschen öfter (70%) als der Kugelform, bei Männern öfter als bei Frauen. Die mittleren Maße der Halbachsen des Ellipsoids bei den männlichen Gelenken sind 26,4 : 25,4 : 25,4, bei den weiblichen 25,0 : 24,1 : 24,1.

Das Ellipsoid steht zum Femurhals in einem bestimmten Winkel und ist, individuell variierend mit seinem medialen oder Gelenkpol nach hinten und oben gerichtet. Die lange Achse des Ellipsoides bildet mit der Achse des Halses einen Winkel von 15—20°. Die Gelenkfläche des Femurkopfes entspricht im Mittel fünf Oktanten der Oberfläche jener geometrischen Form, welche der Gestalt des Gelenkkopfes zugrunde liegt.

Das rechte und das linke Gelenk gleichen einander öfter in der Form und
tsprechen einander seltener in den Maßen — bald ist das eine, bald das andere
n ihnen etwas größer.

2. Die Hüftgelenkpfanne.

Die Hüftgelenkpfanne ist nach unten vorn und außen gerichtet.
r kuglige Gelenkkopf des Femur ist nicht ganz zur Hälfte des ver-
llständigten Sphäroides in dieselbe eingelassen, wenn man nur die
öcherne Partie berücksichtigt und sich die Inzisur ausgefüllt denkt.
e knöcherne Pfanne zeigt am unteren Rand eine Unterbrechung
ncisura acetabuli). Angrenzend an letztere ist der Grund der
anne rauh, etwas vertieft (Fovea intraacetabularis) und nur mit
ndegewebe bepolstert. Der übrige vorn, oben und hinten um dieses
ld herumgehende Teil des knö-
ernen Pfannenbodens ist glatt
d mit Knorpel bekleidet. Am
ripheren Rand des überknorpel-
n Bezirkes schließt sich, als
rtsetzung des Knorpelüberzuges
wohl als des knöchernen Pfan-
nrandes eine faserknorplige Lippe
(Limbus fibrocartilagi-
eus), durch welche das Areal der
fanne vergrößert wird (Fig. 43).
ne weitere Vergrößerung der
anne kommt dadurch zustande,
ß in der Fortsetzung der faser-
orpligen Lippe, den weichen
fannenrand zum Ring ergänzend,
n Bandstreif über den Einschnitt
s knöchernen Pfannenrandes hinüberbrückt (Lig. transversum ace-
abuli), und daß sich das bindegewebige Polster des Pfannenbodens, die
nzisur füllend und durch sie hindurch den Zusammenhang mit dem
ußeren Bindegewebe herstellend, bis zu diesem Band hin erstreckt.
o wird außer der Gelenklippe auch der Bereich der Inzisur und des
ig. transversum zur Vergrößerung der Pfanne verwendet. Die so durch
eichere Teile ergänzte Pfanne greift über den größten Umfang des
berknorpelten, kugligen Schenkelkopfes etwas hinüber, während der
berknorpelte, knöcherne Pfannenboden mit seinem peripheren Rand
iesen größten Umfang nicht erreicht.

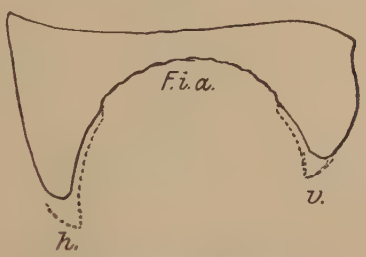


Fig. 43. Schnitt senkrecht zum Pfannenboden durch den größten Horizontal - Durchmesser der Pfanneneingangsebene, *h.* hinterer, *v.* vorderer Pfannenrand, *F. i. a.* Fovea intraacetabularis.

Der bindegewebige Teil des Pfannenbodens zipfelt sich vom unteren
eil aus nach der Gelenkhöhle hin zu einem relativ weichen Gewebs-
rang aus, welcher durch die Gelenkhöhle als ein Ligam. intraarticulare
ei zu der inmitten der überknorpelten Gelenkfläche des Kopfes gelegenen
ovea capitis hinüberbrückt (Lig. teres).

Die festeren Teile des Pfannenbodens liegen ziemlich genau in einer
ugelfläche, welche nur wenig von derjenigen des Kopfes abweicht.

Das Hüftgelenk ist immerhin, wenn wir es nicht zu genau nehmen, nach dem Verhalten seiner Gelenkflächen ein Kugelgelenk, und zwar ist es ein sogenanntes Nußgelenk, weil die Pfanne über den größten Umfang des Kopfes hinübergreift.

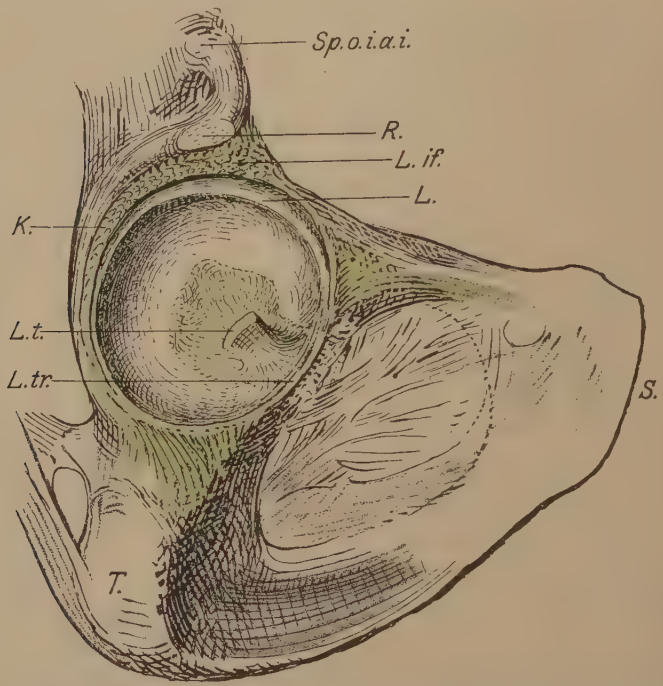


Fig. 44. Hüftgelenkpfanne mit Limbus fibrocartilagineus *L*, Ligamentum transversum *L. tr.*, Ligamentum teres *L. t.*, Kapsel *K.* und Kapselbänder durchschnitten. *R.* Sehne des M. rectus femoris, *T.* Tuber ischii, *S.* Symphyse.

Wie zu erwarten ist, sind nun in diesem Gelenk von mittleren Stellungen aus Drehungen des einen Skelettstückes gegenüber dem anderen um beliebig gerichtete, durch die Mitte des Femurkopfes gehende Drehungsachsen möglich, indem in den mittleren Stellungen das Ligamentum teres und die Kapsel mit ihren Kapselbändern überall erschlafft sind.

β) Unmittelbar am Hüftgelenk gelegene Muskeln und ihr Verhalten zur Gelenkkapsel. Schleimbeutel.

Die verstärkenden Bänder (Faserzüge) der Hüftgelenkkapsel treten aus letzterer im allgemeinen nicht als besondere Stränge frei heraus, sondern bilden mit ihr eine zusammenhängende und geschlossene Schicht,

elche proximalerseits in den Pfannenrand übergeht oder nicht all-uweit über denselben hinübergreift und welche den Schenkelkopf und en Schenkelhals bis ungefähr zu seinem distalen Ende hin umhüllt. iese Schicht greift vorn am Hüftbein besonders weit proximalwärts gen die Spina ossis ilei ant. inf. und gegen das Tuberculum pubicum, nd am Femur reicht sie ebenfalls vorn besonders weit distalwärts bis ur Linea obliqua. Die Trochanteren aber und die Crista intertrochan-rica am oberen, hinteren und unteren Umfang der Femurumbiegung leiben außerhalb des Bereiches der Gelenkkapsel und ihrer Bänder.

Von all den Muskeln, welche um das Hüftgelenk herumliegen, eten nur wenige in direkte Verbindung mit der Hüftgelenkkapsel. on den Längsmuskeln des Oberschenkels ist es allein der Rectus moris, dessen Ursprungssehne in der schon beschriebenen Weise it dem proximalen Teil der Kapsel verschmilzt. Von den Muskeln er, welche mit ihrer Hauptmasse wesentlich der dorsalen und ventralen acette der Beckenaußenseite angelagert sind, und welche, von allen eiten das Gelenk und den Schenkelhals umschließend, nah am Gelenk n Femur sich ansetzen, haben nur der M. iliopsoas, der M. obturator xternus und etwa noch der M. obturator internus mit den Gemelli ngere Beziehungen zur Gelenkkapsel. Die übrigen inserieren auf der öhe der Trochanteren, von der Gelenkkapsel abgehoben, oder enden ch weiter entfernt vom Gelenk. Letzteres gilt auch für die weiter ntfernt vom Gelenk entspringenden Muskeln der Adduktorengruppe, wie für den Tensor fasciae latae und den Glutaeus maximus. Die ehne des M. piriformis und namentlich die gemeinsame Endsehne es Obturator internus und der Gemelli liegen erst ganz an ihrem nde in unmittelbarer Nachbarschaft der Kapsel (Ansatz des Lig. chiofemorale) und können hier allenfalls mit ihr verschmelzen.

Schleimbeutel in der Umgebung des Hüftgelenkes.

Wenn auch nicht so reichlich, wie in der Umgebung des Kniegelenkes, finden sich doch auch in der Umgebung des Hüftgelenkes Schleim-eutel an denjenigen Stellen, wo ein gefestigter Teil (Faszie oder Muskel-ehne) an einer gefestigten Unterlage unter Druck anliegt und sich an ir in ausgiebiger Weise gleitend verschiebt. Der mächtigste Schleim-eutel befindet sich an der Außenseite des Trochanter major wischen ihm und der Fascia lata (s. o. S. 25).

Zwischen dem Tuber ischii und dem Glutaeus maximus ommt es, obschon der Rand des Muskels bei der Beugung des Beines ußen am Tuber nach vorn und bei der Streckung nach hinten rückt, nter gewöhnlichen Umständen doch nicht zur Bildung eines Schleim-eutels, weil die tiefsten Fasern des Muskelrandes nahe dem Tuber am ig. tuberoso-sacrum oder am Tuber selbst entspringen. Die oberfläch-chen Bündel wälzen sich über den tieferen und diese wieder über den och tiefer liegenden nach vorn resp. hinten. Ist aber durch Arthritis eformans oder aus anderen Ursachen die Konfiguration des Skelettes ändert, so kann unter Umständen auch hier ein Schleimbeutel auf-reten.

Unter den Endsehnen des Glutaeus medius, des Piriformis und des Glutaeus minimus finden sich nahe dem Ansatz kleine Schleimbeutel, welche von Toldt in seinem anatomischen Atlas S. 348 abgebildet sind; ebenso kann ein Schleimbeutel unter dem oberen Ursprungszipfel des Rectus femoris gefunden werden.

Ein kleiner Schleimbeutel entsteht regelmäßig jenseits des Kapselansatzes zwischen dem Ende des M. iliacus und der inneren Peripherie des Femur (Bursa iliaca subtendinea).

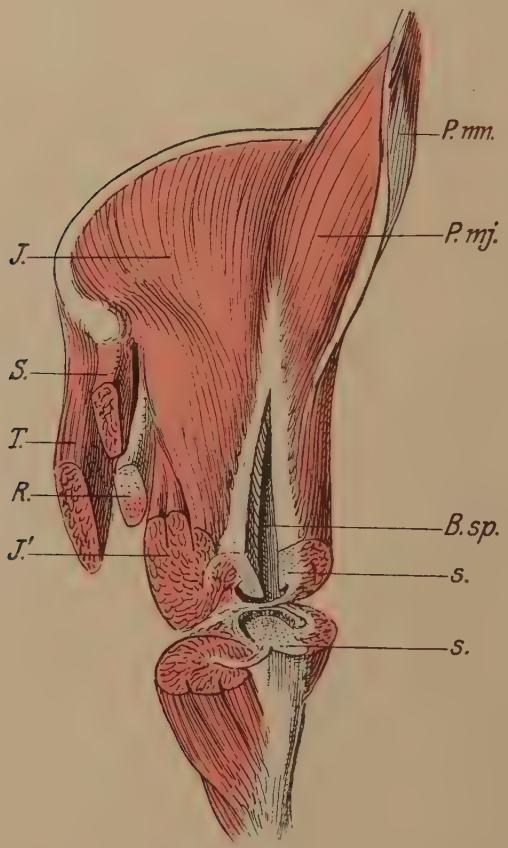
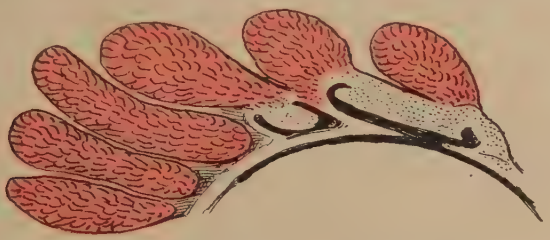


Fig. 45.

Der konstanteste, wichtigste und größte der Schleimbeutel an der Vorderseite des Gelenkes ist der unter dem M. iliopsoas gelegene, der als Bursa iliopectinea oder vielleicht besser als Bursa iliopsoica bezeichnet wird.

1. Verhalten des M. iliopsoas zum Gelenk.

Die anfänglich getrennt im M. psoas und iliacus auftretenden, ungefähr in er Leistengegend oberflächlich werdenden Endsehnen vereinigen sich bald zu iner gemeinsamen Sehne, an deren inneren und äußeren Rand sich auch noch eiterhin von vorn und hinten und von den Seiten her Fleischfasern ansetzen, amentlich kommt für den Außenrand eine neue, mächtige, am Leistenausschnitt es Darmbeins entspringende, in mehrere Unterabteilungen getrennte Faserportion inzu, welche sich durch Vermittlung von einem oder mehreren seitlichen sehnigen ebenblättern oberflächlich mit dem Rand der Hauptsehne sukzessive vereinigt. ie Hauptsehne springt als starker Strang nach hinten gegen die Kapsel des Hüftelenkes vor (Fig. 45 s), mitunter auch in Form von zwei voneinander getrennten trängen (Fig. 46). Schlitzt man den Hauptstrang der Länge nach (Fig. 45) oder legt



ig. 46. Zweikammerige Bursa iliopsoica. Die mediale Kammer mit der Gelenkhöhle in Kommunikation. Horizontalschnitt.

inen Querschnitt durch Muskel und Sehne (Fig. 46), so findet man unter der letzeren den Schleimbeutel, der bis zum Leistenausschnitt des Darmbeins und über ienselben hinaufreicht, distalwärts aber den Trochanter minor nicht erreicht, sondern sich nur etwa bis in die Höhe der unteren Peripherie des Schenkelkopfes erstreckt. Wo zwei Sehnenstränge an der Rückseite vortraten (Fig. 46), habe ch einen doppelten Schleimbeutel gefunden, der durch eine mittlere, ziemlich derbe, septumartige Adhäsion der Sehne an der Unterlage in zwei Kammern getrennt war.

In der Regel findet man die von der vorderen Kapselwand gebildete hintere Wand des Schleimbeutels beim Erwachsenen in einer rundlichen, fensterartigen Öffnung mit außerordentlich scharfen und ziemlich festen Rändern durchbrochen (Fig. 46).

Daß der Iliopsoas da sehnig ist, wo er über den Leistenausschnitt des Hüftbeins, den oberen Pfannenrand und Kapselansatz und über die vordere Wölbung des Schenkelkopfes wie über eine Rolle hinübergeht (bei allen mehr extendierten Stellungen), ist nach den allgemeinen Erörterungen im Allgemeinen Teil dieses Lehrbuches (S. 121) zu erwarten; ferner ist sehr wohl verständlich, daß zwischen der Sehne einerseits, dem Hüftbein und Pfannenrand mit Kapselansatz andererseits ein Schleimbeutel sich bilden muß, da sich ja hier die Sehne als ein gefestigter Teil auf einer gefestigten Unterlage unter Druck und in erheblicher Ausdehnung verschiebt. Würde aber der Sehnenansatz mit dem Kapselansatz zusammenfallen, so müßte wohl das Ende der Sehne mit dem distalen Teil der Kapsel verschmolzen sein (s. Allgemeiner Teil d. L. S. 105). Es ist also von Bedeutung, daß die Anheftung an das Femur erst in einiger Entfernung jenseits des Kapselansatzes an dem vorragenden Trochanter minor geschieht. Dies hat zur Folge, daß die Sehne sich auch dem distalen Teile der Kapsel gegenüber bei den Bewegungen im Hüftgelenk verschiebt. Vor allem kommen hier die seitlichen Verschiebungen bei der Ab- und Adduktion und bei den Ein- und Auswärtsrotationen des Oberschenkels in Betracht. Bei der Ab- und Adduktion gesellt sich dazu wohl auch etwelche Verschiebung nach oben und unten. Und wenn wir uns auch vorstellen, daß die vordere Kapselwand bei der Flexion von der Sehne nach oben,

bei der Extension nach unten geschoben wird, und daß die noch vorhandenen Verbindungen dabei eine gewisse Rolle spielen, so bleibt die Kapselwand doch wohl gegenüber der Sehne, selbst in ihren unteren Teilen, jeweils etwas zurück.

Der Schleimbeutel unter dem Iliopsoas ist für den Arzt von großem Interesse. Er kann primär zum Sitz eines serösen, eitrigen oder hämorrhagischen Exsudates werden. Es kann aber auch ein Senkungsabszeß, von erkrankten Wirbelkörpern her, hinter dem Psoas bis in denselben gelangen und bei vorhandener Kommunikation die Gelenkhöhle erreichen usw.

2. Verhalten des M. obturator externus zum Gelenk (Fig. 47).

Eine eingehendere Untersuchung verdienen auch die Beziehungen des M. obturator externus zum Gelenk und Oberschenkelknochen. Der Muskel entspringt von dem an das Foramen obturatum angrenzenden Teil der ventralen Breitseite des Leistenbeines und von der benachbarten

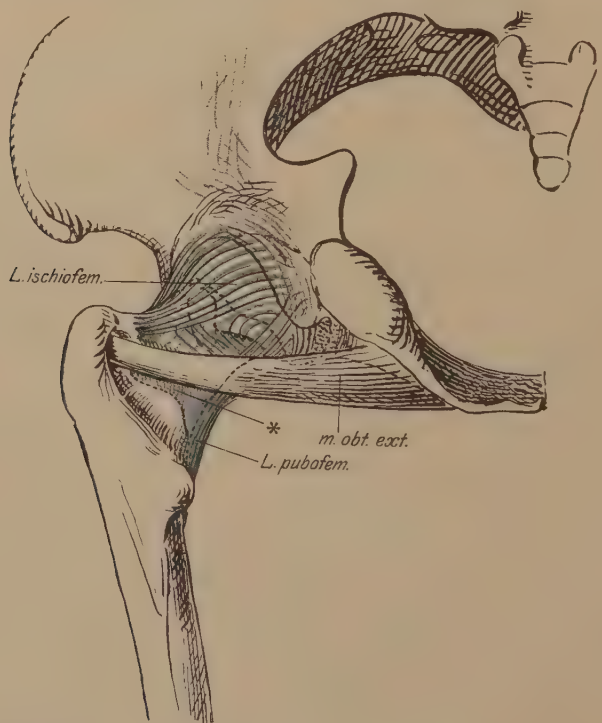


Fig. 47. M. obturator externus bei gebeugtem, etwas über die Beckeneingangsebene gehobenem Femur; Ansicht von hinten. * dünne Stelle der Kapsel.

Partie der Membrana obturatoria. Verschiedene Endsehnenzipfel schließen sich zu einer Endsehne zusammen, die im Querschnitt zuletzt rundlich wird und sich in der Tiefe der Fossa subtrochanterica anheftet. Der bereits verschmälerte Muskel kreuzt die Hinterseite des Schenkel-

halses mehr quer und vom Schenkelkopf weiter entfernt, wenn der Schenkelhals dem Foramen obturatum genähert ist, mehr schräg und näher am Kopf, wenn er dorsalwärts dem Darmbein zugeneigt ist.

Bei abwärts um seine Längsachse rotiertem Schenkelhals (Extension des Oberschenkels mit etwas Adduktion und Einwärtsrotation) ist der Muskel am meisten um den Schenkelhals herum gewickelt und liegt ihm in größter Länge, von der Fossa subtrochanterica bis zur Crista post. inf., die gegen den Trochanter minor hinzieht, fest an (Fig. 47). Diesem ganzen Verlauf entsprechend finden wir in die Hinterseite des Schenkelhalses eine flache Rinne eingegraben, welche in den Figuren 2 B und 4 angedeutet und in der Photographie eines von Herrn Prof. Zimmermann beobachteten Falles besonders schön zu sehen ist.

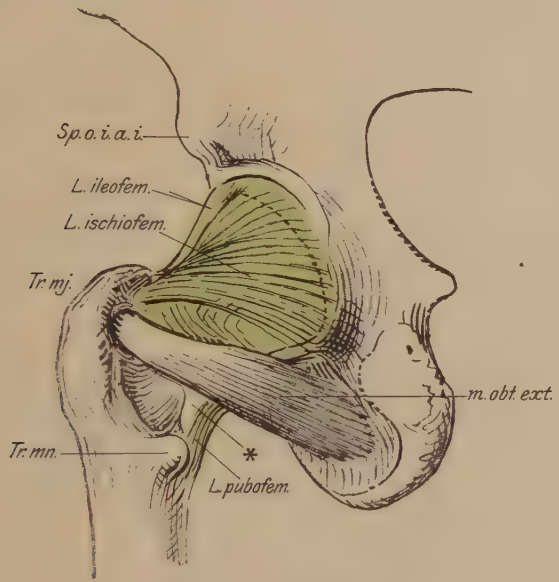


Fig. 48. Streckstellung.

Bei aufwärts um seine Längsachse gedrehtem Schenkelhals (Beugung, Auswärtsrotation und etwas Abduktion des Oberschenkels) ist der Muskel am meisten vom Schenkelhals abgewickelt. Es ist verständlich, daß die Gelenkspalte sich zwischen den Muskel und die hintere Schenkelhalsfläche fortsetzt, so weit als letztere vom Muskel bestrichen wird und daß die Kapsel nur in Form einer dünnen Abschlußwand vom distalen Rand des Muskels zur distalen Grenze dieser Bestreichungsfläche hinüberbrückt. An der Crista posterior inferior senkt sich der Gelenkspalt allmählich weiter hinab gegen den Trochanter minor, unter Ausbuchtung der Ansatzlinie der dünnen Abschlußmembran gegen diesen Vorsprung hin. Und an der unteren Seite der Crista posterior inferior und des Schenkelhalses,

wo der Muskel stets vom Schenkelhals abgelöst ist, erstreckt sich die Gelenkkapsel, hier nun mit Faserverstärkungen plötzlich weiter distalwärts bis zwischen den Trochanter minor und das Ende der Linea obliqua anterior hinab (Figg. 47 und 48).

γ) Präparation und Untersuchung der Hüftgelenkkapsel mit ihren Bändern von außen.

1. Übersicht über die langen Bänder.

Nach Durchschneidung sämtlicher um das Hüftgelenk herumliegender Muskeln und Kürzung bis nahe an das Niveau der beiden Facetten

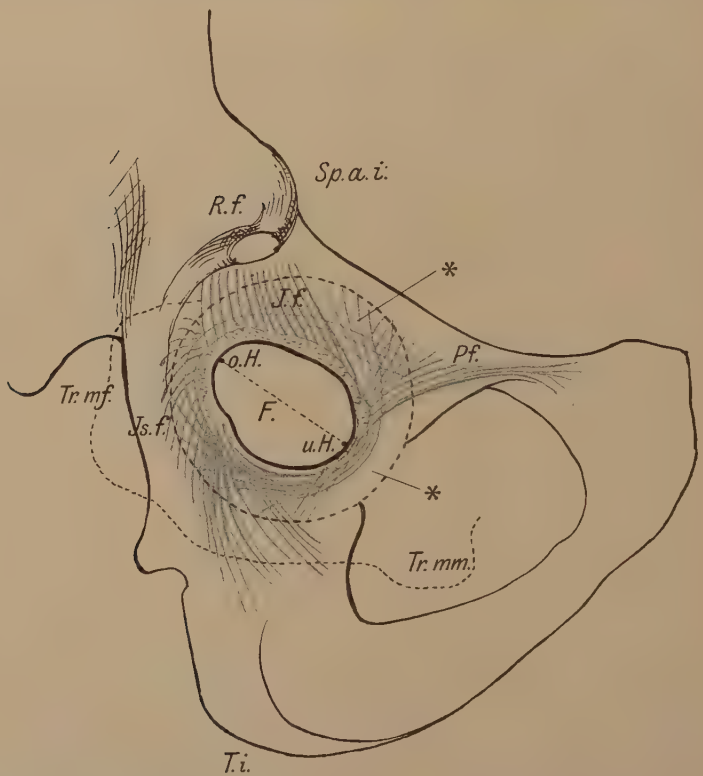


Fig. 49. Schematisches Übersichtsbild der Bänder des Hüftgelenkes im proximalen Teil der Kapsel, bei Gelenkmittelstellung. Umfang des Femurkopfes und Kontur der Trochanterenregion durch punktierte Linien dargestellt, ebenso der größte Querdurchmesser des Schenkelhalses. *o. H.* oberer Hauptpunkt, *u. H.* unterer Hauptpunkt des Schenkelhalses, *J. f.* Lig. iliofemorale, *Js. f.* Lig. ischiofemorale, *Pf.* Lig. pubofemorale, * dünne Stellen der Kapsel.

des basalen Feldes ergibt sich bezüglich der Muskelursprünge das auf S. 21 dargestellte Bild. An dem dargestellten Präparat ist auch die Kapsel mit den Bändern in der Nähe des Pfannenrandes durchschnitten, das Femur exartikuliert und entfernt. Man erhält so eine Übersicht über den Ursprung der verstärkten Züge der Kapsel (Bänder).

An einem Präparat, an welchem nach Entfernung der Muskeln die Kapsel möglichst sauber dargestellt ist, gewinnt man folgende Übersicht über die Anordnung der wichtigsten äußeren Faserzüge der Hüftgelenkkapsel. (Wir stellen sie in Fig. 49 schematisch so dar, wie sie sich in der Mittelstellung nach Durchschneidung des Femur und der Kapsel am Schenkelhals, bei Betrachtung des proximalen Stumpfes von außen her zeigen würde.)

Die äußerlich sichtbaren besonderen Faserzüge der Kapsel sind im wesentlichen sog. Längsbänder, welche vom Hüftbein bis zum Femur gehen. Wir unterscheiden ein Lig. iliofemorale (L. Bertini), das undeutlich in eine obere und eine vordere Portion zerfällt, das Lig. ischiofemorale und ein Lig. pubofemorale.

Die Hauptbänder entspringen im Umkreis der Pfanne: vom anstoßenden Teile des inguinalen Schambeinastes (Lig. pubofemorale), vom benachbarten Teil des ventralen Randes des Darmbeins (Crista lat. bis zur Spina oss. il. a. i.) und von der breiten Außenseite des dorsalen Pfannenrandes (Lig. iliofemorale und ischiofemorale). Sie heften sich am vorderen und oberen Teil einer Linie an, welche den Schenkelhals oberhalb des Trochanter minor und dicht einwärts vom Trochanter major umkreist. Das Lig. ischiofemorale und iliofemorale bilden eine zusammenhängende Faserplatte. Das Lig. pubofemorale erreicht deren vorderen Rand erst beim Ansatz am Femur. An beiden Seiten desselben bleiben zwei proximale Stellen der Kapsel, eine vordere und eine untere, verhältnismäßig dünn und schwach. Die untere ist durch eine mäßig dicke Lage annähernd zirkulär verlaufender Fasern verstärkt, welche zu einer tiefen Faserung, der sog. Zona orbicularis gehören. Eine dritte dünne Stelle der Kapsel befindet sich zunächst dem distalen Kapselansatz unter der Sehne des Obturator (s. o.) externus.

2. Inanspruchnahme der Bänder bei den verschiedenen Stellungen und Bewegungen des Femur im Hüftgelenk.

Beurteilung nach der Stellung des Schenkelhalses zur Pfanne.

Im allgemeinen entspricht jeder bestimmten Stellung des Femur im Gelenk auch eine bestimmte Konfiguration und mechanische Inanspruchnahme der Kapsel. Wir sind, um eine Übersicht zu gewinnen, genötigt, bestimmte Reihen von Stellungen, die je durch eine einfache, gut vorstellbare Drehung um eine bestimmte Achse herbeigeführt werden, aufzusuchen und für dieselben die Art der Abänderung der Inanspruchnahme der Kapsel und Bänder festzustellen. Am besten untersucht

man den Effekt von Drehungen des Femur um bestimmte Hauptachsen von irgend einer Ausgangsstellung oder von bestimmten besonders wichtigen Ausgangsstellungen aus.

Hier stehen nun im allgemeinen bei jedem Gelenk und so auch beim Hüftgelenk zwei Wege der Betrachtung offen:

a) Man wählt die gleiche Art der Zerlegung der Bewegung, welche sich bei der Beurteilung der Stellungen und Bewegungen des ganzen Gliedes als die vorteilhafteste erwiesen hat, und untersucht, wie sich bei jeder Teilbewegung Ursprung, Ansatz und Länge der einzelnen Faserzüge der Kapsel ändern. Die Projektion der Ursprungs- und Ansatzpunkte der Bänder auf die Ebene der Drehung gibt zwar nicht den absoluten Wert, aber doch den Sinn der Abstandsänderung und der damit verbundenen Spannungsänderung. Dieses Projektionsverfahren eignet sich sehr gut zur graphischen Veranschaulichung und zur ersten Orientierung. Doch wird es sehr schwer möglich sein, richtig abzuschätzen, wie sich bei kombinierten, aus verschiedenen Drehungen zusammengesetzten Bewegungen die Einflüsse der einzelnen Drehungen summieren oder gegenseitig aufheben.

Immerhin werden wir uns dieses Verfahrens im folgenden wo immer möglich bedienen.

b) In mancher Hinsicht rationeller ist es, wenn die Bewegung im Gelenk so zerlegt wird, wie es für eine gute Vorstellung von den zwischen den Gelenkkörpern und Gelenkflächen stattfindenden Stelllungsänderungen am vorteilhaftesten ist. Das muß in jedem einzelnen Fall nach besonderen Normen geschehen.

Wenn man annimmt, daß Kapsel und Bänder in einem schmalen kreisförmigen Streifen am Umfang der Pfanne entspringen und am Schenkelhals in einem Kreis inserieren, der in die Fortsetzung der Kopfgelenkfläche fällt, was beides allerdings nicht ganz genau zutrifft, so stellen Kapselursprung und Kapselansatz zwei starre Ringe von verschiedener Weite dar, welche über die Oberfläche einer Kugel (Schenkelkopf) gelegt sind; zwischen ihnen spannt sich manschettenartig die Kapsel aus. Der kleinere, distale (Ansatz-)Ring ist fest mit dem Schenkelkopf verbunden, der weitere, proximale (Ursprungs-)Ring ist an der Schenkelkopfoberfläche verschieblich. Man kann sich auch den Ursprungsring im Raum fest und den Ansatzring mit dem Schenkelkopf um dessen Mittelpunkt drehbar denken.

Ein Modell kann hergestellt werden bestehend aus einer Kugel und zwei Ringen, welche der Oberfläche einer Kugel anliegen, der eine kleinere Ring repräsentiert den Kapselansatz am Femur; es genügt, an demselben zwei Punkte zu markieren, welche der Hauptebene des Schenkelhalses entsprechen und durch einen Stift, welcher auf der Mitte der Ringfläche senkrecht steht, die Schenkelhalsachse darzustellen. An dem weiteren Ring, der unmittelbar jenseits des größten Umfangs der Kugel auf der anderen Seite liegt und an einem Stativ befestigt ist, sind ebenfalls Marken anzubringen, welche bestimmten Stellen des Pfannenrandes entsprechen. Durch elastische Verbindungsfäden zwischen den beiden Ringen können die Hauptzüge der Bänder dargestellt werden.

Die verschiedenen Stellungen der beiden Ringe zueinander sind offenbar am besten definierbar, wenn man sich dieselben aus einer Mittel-

stellung, welche der Mittelstellung des Gelenkes entspricht, hervorgegangen denkt. Die Mittelstellung des Gelenkes ist dadurch charakterisiert, daß von ihr aus um jede Mittelpunktsachse des Hüftgelenkkopfes nach beiden Seiten gleich umfängliche Drehungen möglich sind. Was die Drehungsachsen betrifft, welche der Pfanneneingangsebene (Ebene des Ursprungsringes) parallel laufen, so hängt ihr Umfang davon ab, wie weit an der Seite, nach welcher die Drehung erfolgt, die Kopfgelenkfläche den Pfannenrand überragt. Dies muß in der Mittelstellung für zwei diametral gegenüberliegende Seiten gleich viel sein. Wird der Ansatzring dem Rand der Kopfgelenkfläche parallel genommen, so muß er in der Mittelstellung zum Ursprungsring parallel stehen. Außerdem muß von der Mittelstellung aus eine Drehung um die Schenkelhalsachse resp. um die Linie, welche zur Mitte der Ansatzringebene senkrecht steht, nach beiden Seiten im gleichen Umfang möglich sein; die beiden Ringe bleiben dabei einander parellel und behalten den gleichen Abstand. Linien, welche in der Mittelstellung einander zunächst stehende Punkte der beiden Ringe verbinden, können als wahre Längslinien der Kapsel bezeichnet werden. Sie stellen sich bei der Drehung um die Schenkelhalsachse nach der einen oder anderen Seite schräg. Dies entspricht einer Torsion der Gelenkkapsel. Bei seiner Drehung um quer zur Schenkelhalsachse verlaufende Achsen aus der Mittelstellung nähern sich die korrespondierenden Punkte an der Seite, nach welcher die Drehung stattfindet, einander am meisten, während sie an der entgegengesetzten Seite auseinander rücken. Es können nun aber auch diese beiden Bewegungsarten miteinander kombiniert werden, sei es, daß man sie nacheinander, sei daß man sie gleichzeitig vor sich gehen läßt.

Um nach diesem Schema die Stellungsänderungen im Hüftgelenk untersuchen zu können, ist es notwendig, sich über bestimmte Orientierungspunkte am Kapselursprung und Kapselansatz zu einigen. Die Orientierungspunkte müssen so gewählt sein, daß ihre jeweilige Lage aus der Stellung des ganzen Oberschenkels zum Becken auch beim Lebenden erschlossen werden kann. Über das, was als Mittelstellung gelten soll, muß genauere Vereinbarung getroffen werden.

Orientierungspunkte.

Am **Pfannenrand** ist vor allem ein Hauptdurchmesser zu unterscheiden, welcher einer bilateralen Längsebene des Beckens entspricht und einen kranialen Punkt des Pfannenrandes zunächst der Spina o. il. ant. inf. mit einem kaudalen Punkt zunächst dem Tuber ischii verbindet (Figg. 16 und 49). Er teilt die Pfanneneingangsebene und den Pfannenrand in eine ventrale und eine dorsale Hälfte.

Die Mitte des dorsalen Pfannenrandes ist dem Foramen ischiadicum majus benachbart (Circumferentia dorsalis media), die Mitte des ventralen Randes sieht gegen die Symphyse (Circumferentia ventralis media s. pubica). Praktisch besonders wichtig ist für den dorsalen Rand die Unterscheidung einer Pars iliodorsalis, welche der Darmbeinschaufel, und einer Pars ischiodorsalis, welche der Spina ischiadica be-

nachbart ist. Danach unterscheidet man bei den Luxationen die Luxatio dorsalis superior s. iliaca (L. iliodorsalis), und die Luxatio dorsalis inferior s. ischiadica (L. ischiodorsalis).

Am ventralen Rand aber unterscheiden wir zweckmäßig eine Pars inguinalis (Luxatio inguinalis) und eine Pars obturatoria (L. obturatoria).

Zwischen diesen vier Hauptabschnitten der Circumferenz, denen die vier häufigsten Formen der Luxation entsprechen, liegen intermediär der kaudale und der kraniale, der mittlere dorsale und der mittlere ventrale Punkt des Randes. Am knöchernen Pfannenrand entsprechen die stärksten Vorragungen in der Regel dem dorsalen Schenkel des Sitzbeins (Tuber ischii), dem vorderen Randteil der Darmbeinschaufel und dem abdominalen Ast des Schambeines, s. S. 4.)

Am **Schenkelhals** bezeichnen wir am besten als Hauptebene eine Ebene, welche durch den Mittelpunkt des Gelenkkopfes und die Längslinie des Femur und mitten durch die engste Stelle des Schenkelhalses hindurchgeht.

Sie liegt ungefähr parallel zur Linea obliqua (intertrochanterica) anterior. Den Querschnitt durch die engste Stelle des Schenkelhalses schneidet sie parallel dem vorderen, am meisten geradlinig verlaufenden Teil der Kontur. Sie trifft den höchsten Punkt des Querschnittes und halbiert das obere, vom Schenkelkopf zum vorderen Teil des Trochanter major gehende Joch, das vor der Fossa subtrochanterica gelegen ist. Unten verläßt sie die engste Stelle des Schenkelhalses mitten zwischen der flachen, zur Tuberositas inferior der Linea obliqua, und der schärfer ausgeprägten, gegen den Trochanter minor hinziehenden Kante. Die beiden Punkte, in welchen die genannte Hauptebene den engsten Querschnitt des Schenkelhalses verläßt, sollen als oberer und unterer Hauptpunkt des Schenkelhalses (oH und uH) bezeichnet werden. Die Hauptebene des Schenkelhalses ist zugleich Hauptebene des ganzen Femur. Sie weicht, wie früher erörtert wurde, von der Bestimmungsebene des Femur um einen wechselnd großen Winkel meist nach außen und hinten ab, im Mittel um 10—20°.

Die **Stellung des Schenkelhalses zur Pfanne** wird am anschaulichsten dadurch charakterisiert, daß wir

1. die Stellung (Neigung) der Schenkelhalsachse zur Pfanneneingangsebene und

2. die Linie bestimmen, in welcher eine bestimmte Längsebene des Schenkelhalses, z. B. die Hauptebene oder die Bestimmungsebene des Femur die Pfanneneingangsebene schneidet.

Die Schenkelhalsachse (Längslinie des Schenkelhalses) kann auf der Mitte der Pfanneneingangsebene senkrecht stehen (in der Mittelstellung des Gelenkes), oder sie kann nach der einen oder anderen Stelle des Pfannenrandes hin geneigt sein. Doch werden wir als Maß der Neigung der Schenkelhalsachse nicht den Winkel nehmen, den sie mit der Pfanneneingangsebene bildet, sondern den Winkel, um welchen sie von der Normalen der Pfanneneingangsebene (ihrer Mitte) abweicht.

Geht man in der Exkursionskugel im größten Kreis, welcher durch die Epikondylenlinie gelegt ist (Fig. 50), um ca. 55° vom Kniepunkt k aus nach außen zum Punkt a und von da aus um 10—20 Bogengrade senkrecht zu der Richtung des Kreises nach der Dorsalseite des Beines, so gelangt man zum Punkt b, an welchem in der Regel die Längsachse des Schenkelhalses die Exkursionskugelfläche trifft. Der größte Kreis k b, welcher den Kniepunkt mit dem Schenkelhalsachsenpunkt verbindet, entspricht der Hauptebene des Schenkelhalses, welche, so wie wir sie angenommen haben, zugleich die Hauptebene des Beines darstellt.

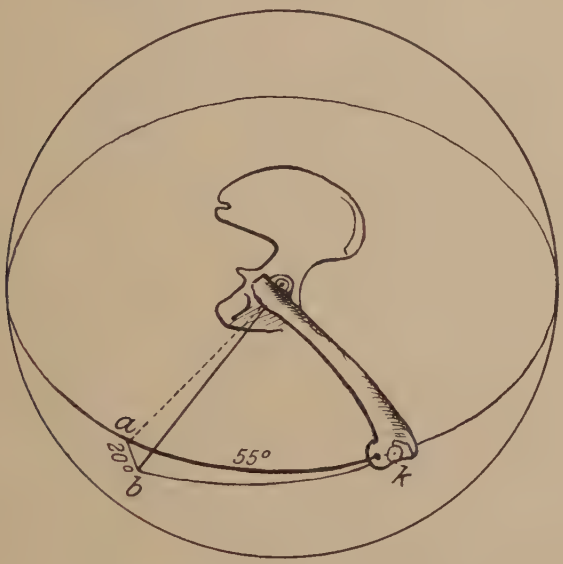


Fig. 50. Bestimmung der Lage der Schenkelhalsachse.

Auf einem Globus, der das Gradnetz der Exkursionskugelfläche zeigt, läßt sich die Projektion des Pfannenrandes mit ihren vier Hauptpunkten und der Ort, in welchem die Normale zur Mitte der Pfanneneingangsebene das Gradnetz schneidet, ein für allemal eintragen, ebenso wie die Schnittlinie der Hauptebene des Femur und Schenkelhalses in der Grundstellung.

Schneidet man sich nun noch einen biegsamen, schmalen Kartonstreifen zurecht, an welchem die Punkte k und a um ca. 55 Bogengrade der Exkursionskugel, die Punkte a und b aber um 10—20 Bogengrade auseinander liegen, so kann dieser Streifen ähnlich der Femurplatte des Globusmuskelphantoms (s. S. 58) benutzt und der Kugelfläche glatt aufgelegt werden. Ein Längsschlitz am einen Ende, dessen Mitte dem Punkt k entsprechend durch eine Querbrücke unterbrochen ist, wird an die Stelle der Epikondylenlinie gebracht, und zwar so, daß die Querbrücke dem Kniepunkt entspricht. Die Linie a b am anderen Ende des Streifens muß nach hinten (resp. unten) gerichtet sein; dann entspricht der Punkt a dem Schenkelhalsachsenpunkt, der größte Kreis durch b und k der Hauptebene des Femur und Schenkelhalses. Es läßt sich leicht ermitteln, welchem Punkt des Pfannenrandes die Schenkelhalsachse o b am meisten genähert ist, und welche Punkte des Pfannenrandes von der Hauptebene des Schenkelhalses getroffen

werden. Natürlich läßt sich auch das Globusmuskelphantom sehr leicht zum gleichen Gebrauche herrichten, indem in der Fortsetzung der Femurplatte und in starrer Verbindung mit derselben eine Marke für den Schenkelhalspunkt angebracht wird.

Nach diesen Angaben kann man auch beim Lebenden die Lage und Richtung der Achse und Hauptebene des Schenkelhalses annäherungsweise bestimmen. Es lassen sich auch sehr leicht Hilfsmittel ersinnen, durch welche man sich die Auffindung des Punktes b, in dem die Schenkelhalsachse die Exkursionskugelfläche mutmaßlich schneidet, erleichtern kann.

Mittelstellung des Gelenkes und abgelenkte Stellungen.

Nach den über den Verkehrsumfang im Hüftgelenk gewonnenen Daten ist die Mittelstellung des Gelenkes bei M 70 bis 75°, P −5° (5° Abduktion) und R 0 bis 10° (10° Auswärtsrotation) gegeben. Es zeigt sich, daß bei dieser Stellung die Mitten der beiden Gelenkflächen ziemlich genau zusammentreffen und die Schenkelhalsachse aus der Normalstellung zur Pfanneneingangsebene nur wenig, meist nach oben abweicht. Bei dieser Gelenkstellung ist die Kapsel in Längslinien überall ziemlich gleichmäßig erschlafft und ebenso in schrägen spiraligen Linien. Durch künstliche Injektion in den intraazetabulären Teil der Gelenkhöhle kann in dieser Stellung der Schenkelkopf um 2—3 cm vom Pfannengrund abgedrängt werden. Andererseits läßt sich bei Injektion in den extraazetabulären Teil der Gelenkhöhle in dieser Stellung die größte Menge von Masse einführen. In jeder anderen Stellung sind immer die einen oder anderen Kapselteile angespannt. Es ist verständlich, daß bei großer Schmerzempfindlichkeit der Kapsel im Beginn einer von Erguß in die Gelenkhöhle begleiteten entzündlichen Gelenkaffektion der Patient möglichst diese Stellung des Hüftgelenkes herbeiführt, weil dabei die Kapazität der Gelenkhöhle am größten, die Gelenkkapsel aber am gleichmäßigsten gespannt resp. entspannt ist. (I. Stadium der akuten eitrig-serösen Coxitis.) Daß die Füllung der Kapselhöhle mit Exsudat rein mechanisch dem Gelenk die Mittelstellung, etwa sogar noch entgegen der Einwirkung der Schwere aufzuzwingen vermag, daran ist natürlich nicht zu denken.

In der Mittelstellung ist der Trochanter major dem unteren Teil des dorsalen Pfannenrandes genähert. Die Hauptebene des Femur schneidet in dieser Stellung die Meridianebene des Kniepunktes. Sie steht zu letzterer etwas schräg im Winkel von 10° oder mehr, in einem Verlauf von außen und hinten (unten) nach innen und vorn (oben). Die Pfanneneingangsebene wird von der Hauptebene in einem fast genau horizontalen Durchmesser getroffen, der am hinteren Pfannenrand nur wenig höher liegt als am vorderen. Die Fortsetzung würde nahe über der Symphyse vorbeigehen.

Es ist nun wichtig, daß man die Beziehungen feststellt zwischen den in bisheriger Weise bestimmten Bewegungen des ganzen Femur und der nach der neuen Norm bestimmten Bewegung des Schenkelhalses.

Bei Drehungen des Schenkelhalses um eine Achse, welche quer zum Schenkelhals und quer zur Hauptebene verläuft, wobei der obere oder der untere Hauptpunkt des Schenkelhalses vorausgehen, bleibt die Hauptebene unverändert zum Becken. Die Femurlängslinie bewegt sich in derselben wie die Schenkelhalsachse.

Neigt sich der Schenkelhals kranialwärts oder kaudalwärts, indem eine Drehung um diejenige Querachse desselben erfolgt, die mit der Hauptebene zusammenfällt, so dreht sich die Hauptebene, und die Längslinie

des Femur beschreibt einen Kegelmantel um diese in der Hauptebene liegende, nach innen und etwas nach vorn absteigende Querachse.

Dreht sich endlich der Schenkelhals um seine eigene Mittellinie, so beschreibt die Längslinie des Femur auch wieder einen Kegelmantel um diese Drehungsachse, welche in der Mittelstellung nach vorn außen absteigt.

Die Längsrotation des Schenkelhalses um seine Mittellinie hat zur Folge, daß die Linie, in welcher die Hauptebene die Pfanneneingangsebene schneidet, entweder vorn nach oben geht oder sich in entgegengesetztem Sinn dreht. Im ersten Fall handelt es sich um eine Längsrotation des Schenkelhalses nach oben, im zweiten Fall um eine Längsrotation nach unten.

Die in den Figg. 51, I, II, III und IV gegebenen Schemata erläutern nun in erster Annäherung die Veränderung, welche die Kapsel

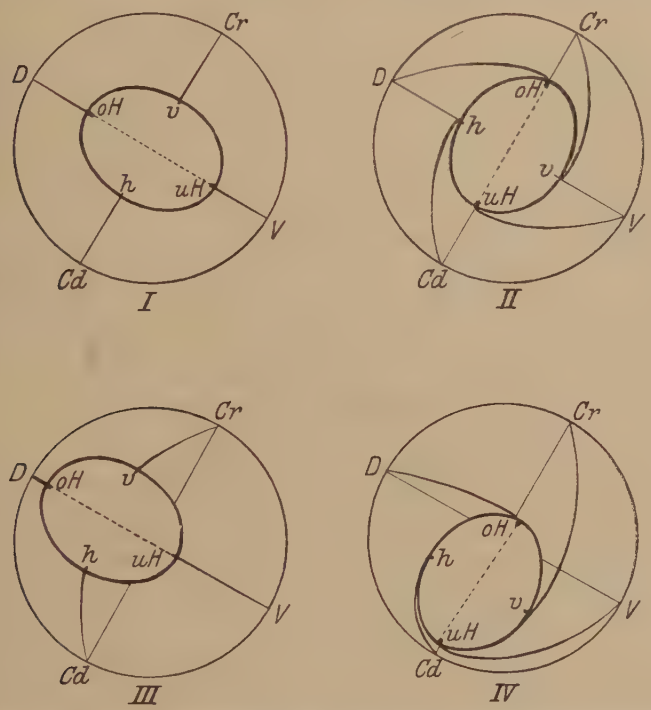


Fig. 51. *I—IV.* Schemata zur Beurteilung der Inanspruchnahme der Gelenkkapsel.

und bestimmte Linien derselben bei der Neigungsänderung der Schenkelhalsachse und bei der Drehung des Schenkelhalses um seine Achse erfahren. Der äußere Kreis bedeutet den Pfannenrand und Kapselursprung. Der kraniale und kaudale Punkt sind mit Cr und Cd bezeichnet, der mittlere ventrale und der mittlere dorsale Punkt mit V und D. Das innere Oval stellt den Kapselansatz am Schenkelhals dar; die Punkte o H und u H entsprechen dem oberen und dem unteren Hauptpunkt des kleinsten Halsquerschnittes, die Punkte v und h der Mitte des vorderen und des hinteren Umfanges.

Das Schema I gibt die Stellung des Kapselansatzes zum Kapselursprung in der Mittelstellung. Die Linien D—oh, Cr—v, V—uH und Cd—h, alles Längslinien der Kapsel, sind in der Mittelstellung alle gleichmäßig entspannt. Ebenso sind die zwei Arten schräger Linien in der Kapsel (z. B. V—u und V—h) alle entspannt.

Das Schema II zeigt die Umstellung der Längslinien der Kapsel bei Längsrotation um die normal zur Pfanneneingangsebene gestellte Schenkelhalsachse (Abwärtsrotation) und die Entfernung ihrer Endpunkte voneinander. Die Endpunkte der wirklichen schrägen Kapsellinie V—v haben sich einander genähert, während die Endpunkte der wirklichen schrägen Kapsellinie V—h besonders stark auseinander gerückt sind.

Schema III veranschaulicht die Veränderung der Kapsel bei reiner Neigung des Schenkelhalses gegen den dorsalen Pfannenrand D.

Im Schema IV endlich ist das Verhalten der Kapsel bei gleichzeitiger Neigung und Längsrotation des Schenkelhalses dargestellt (Neigung gegen den kaudalen Pfannenrand + Abwärtsrotation). Am meisten haben sich voneinander entfernt die Endpunkte derjenigen wirklichen schrägen Kapsellinien, deren Femurende sich wegen der Längsrotation im gleichen Sinn von dem Ursprungspunkt entfernt, wie wegen der Längsrotation der Schenkelhals um seine Längsachse. Die größte Erschlaffung dagegen zeigen diejenigen wirklichen Längs- und Schräglinien der Kapsel, deren Endpunkte sowohl wegen der Neigung der Schenkelhalsachse als wegen der Längsrotation um dieselbe einander genähert werden.

Nach diesen Vorbemerkungen können wir zur genaueren Besprechung der Funktion der einzelnen Hüftgelenkbänder übergehen.

3. Das Lig. iliofemorale (γ-Band, Lig. Bertini).

Es entspringt als einheitliche geschlossene Bandmasse von $1^1/_2$ cm Breite in dem dreieckigen Felde, das zwischen dem obersten Teile des Pfannenrandes und der Spina o. i. a. i. liegt, und das wir als kraniales Dreieckfeld (des Kapselursprunges) bezeichnen wollen. Von hier geht das Band, in zwei mehr oder weniger deutlich gesonderte Schenkel auseinanderlaufend zur Linea obliqua (intertrochanterica) anterior (Fig. 52).

Der nach unten und hinten von der Spina ziemlich breit entspringende mächtigere Teil, das Lig. iliofemorale superius heftet sich am oberen Teil der Linea obliqua, an einer besonders akzentuierten Rauhigkeit (Tuberculum sup.) an. Seine Fasern gehen beim aufrechten Stand fast direkt nach außen und konvergieren distalwärts. Es ist dieser Teil für sich allein schon das mächtigste Band des Körpers, mächtiger, wenn auch nicht so kompakt, wie das untere Kniescheibenband. Seine Tragkraft wird auf 250 kg angegeben (500 kg für die ganze Kapsel des Hüftgelenkes). Ohne scharfe Grenzlinie schließt sich an dieses obere Band das Lig. iliofemorale anterius s. inferius an, das unter der Spina entspringt und, sich verbreiternd zum mittleren und unteren Teil der Linea

intertrochanterica anterior hinzieht. Der unterste Teil der Ansatzlinie biegt über die vordere Innen- resp. Unterkante des Schenkelhalses noch etwas in seine Innenfläche ein, ohne den Trochanter minor zu erreichen, der sich aus der hinteren Randkante dieser Fläche heraushebt. Die Tragkraft dieses Bandes wird auf 100 kg bemessen. Sein unterer Randteil ist besonders stark entwickelt. Seinem Ansatz entspricht ein besonderer unterer Höcker der Linea obliqua. Eine eigentliche Lücke, eine dünne Stelle der Kapsel ist zwischen dem oberen und unteren Band nicht vorhanden. Die untersten innersten Fasern steigen beim aufrechten ge-

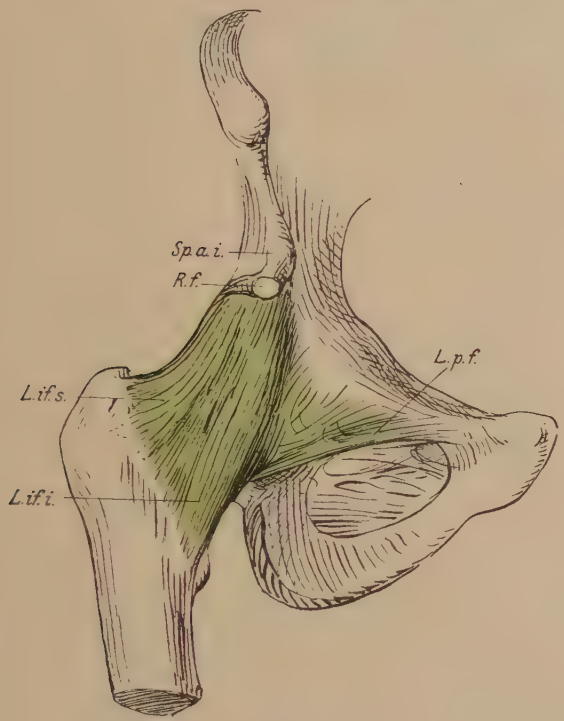


Fig. 52.

raden Stand fast senkrecht nach außen ab, verlaufen aber, falls das Bein nicht stark einwärts rotiert ist, immer noch nach außen von der stärksten Vorwölbung des Gelenkkopfes, so daß sie sich bei der **Adduktion** aus dieser Stellung immer noch etwas spannen und bei der **Abduktion** schlaff werden. Um so mehr gilt dies für alle übrigen Fasern des Lig. iliofemorale. Natürlich verschiebt sich der Innenrand des Bandes vor dem Gelenkkopf bei der Adduktion nach innen, bei der Abduktion nach außen.

Fig. 53 I gibt die Projektion des Gelenkes auf die Ab—Adduktionsebene bei der Streckstellung, Fig. 53 II dasselbe bei der Beugestellung

Bei ersterer liegt der Ursprung des Bandes in der Projektion mit Bezug auf das Femur weiter proximal jenseits der Ab-Adduktionsachse; bei letzterer eher etwas distalwärts davon, in beiden Stellungen natürlich gleich weit nach außen von ihr. Daraus folgt, daß zwar im allgemeinen Ursprung und Ansatz des Bandes (seiner beiden Abteilungen) bei der Adduktion auseinanderrücken und bei der Abduktion sich einander nähern. Die Abstandsänderung geht aber in beiden Stellungen und an den beiden Bandabschnitten in verschiedener Weise vor sich. Die Anheftungspunkte des unteren Bandabschnittes nähern sich einander in der Abduktion sowohl bei der Streckstellung, als bei der Beugestellung; am oberen Band verringert sich der Abstand der Anheftungspunkte deutlich nur bei der Abduktion in der Streckstellung. In der Beugestellung ist für das obere Band die Abstandsänderung

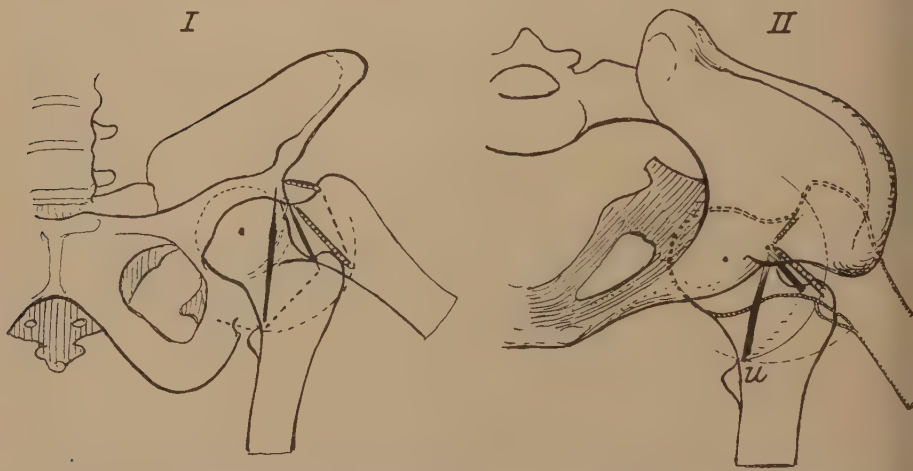


Fig. 53. Verhalten des Lig. iliofemorale bei Ab- und Adduktion des Femur. *I* in Streckstellung, *II* in Beugestellung.

bei Ab- und Adduktion nicht sehr erheblich. Bei der Abduktion gelangt das Band zu einem toten Punkt, nach dessen Überschreitung es wieder gedehnt wird. Daneben muß man berücksichtigen, daß durch die Beugung selbst das ganze Band an und für sich erschlafft, indem seine Ansatzpunkte einander genähert werden.

Das Band hemmt also im allgemeinen die Adduktion, namentlich früh und hier auch stärker mit seinem oberen Teil in der Streckstellung. Es erschlafft im allgemeinen bei der Abduktion. Der obere Teil spannt sich in der Beugestellung bei starker Abduktion wieder etwas an.

Sämtliche Fasern des Bandes spannen sich bei der **Extension** (Fig. 54) und erschlaffen bei der **Flexion**. Ganz besonders rasch wächst die Anspannung des unteren Teiles gegen das Ende der möglichen

Exkursion, weil sich hier das untere Band, das bei der Beugestellung den Schenkelhals nur leicht tangiert, um den Schenkelhals herumwickelt. (Alle Fasern des Bandes spannen sich bei der Extension wesentlich deshalb, weil der Schenkelhals sich dem gegenüberliegenden Pfannenrand zuneigt, die unteren Fasern des Bandes außerdem aber noch wegen

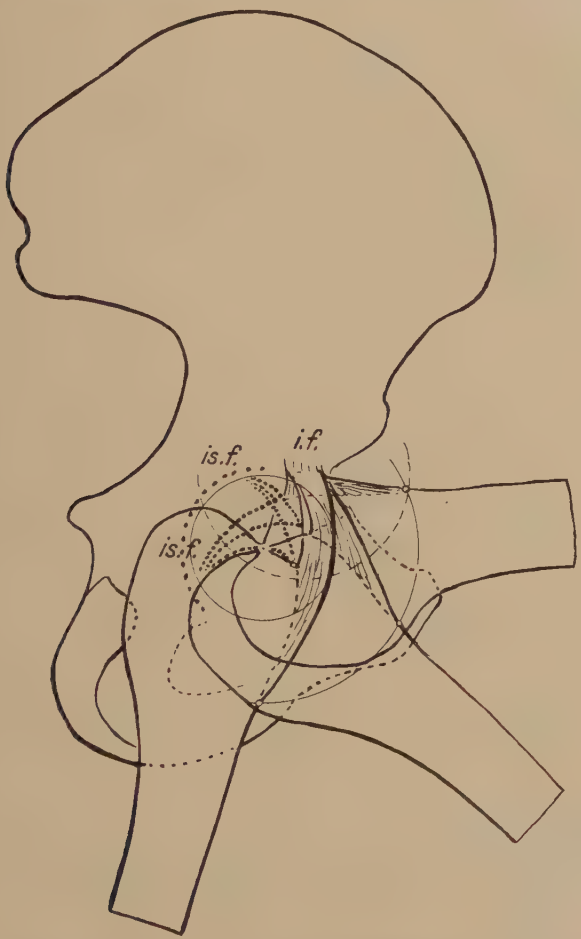


Fig. 54. Verhalten des Lig. iliofemorale und ischiofemorale bei der Beugung und Streckung des Femur. *i. f.* Lig. iliofemorale, *is. f.* Lig. ischiofemorale.

der Abwärtsrotation des Schenkelhalses um seine Längsachse.) Beim aufrechten geraden Stand ist das Band bereits einigermaßen angespannt. Völlig gespannt wird es allerdings in seinen unteren Fasern erst, wenn die Hüfte maximal nach vorn durchgedrückt, das Becken auf den Hüftgelenkköpfen, soweit möglich, nach hinten herabgedreht ist. Letzteres

entspricht nicht dem geraden aufrechten Stand und noch weniger der aktionsbereiten Haltung beim Stand (s. S. 260, Bd. II). Die oberen Fasern aber werden besonders stark gespannt, wenn noch Adduktion des Oberschenkels hinzutritt (Fig. 53, I).

Beim Stehen auf einem Bein tritt die maximale Anspannung des ganzen Bandes ein, wenn das Becken nach hinten zurückgedreht (Extension) und nach der Seite des freien Beines herabgesunken ist (Adduktion).

Ein- und Auswärtsrotation. Die Fig. 55 (Projektion auf Querebene des Femur) zeigt deutlich, daß bei der Streckstellung (II) durch die Einwärtsrotation die Anheftungspunkte des Lig. iliofemorale voneinander entfernt werden, während in der Beugestellung (I) das gleiche bei der Auswärtsrotation stattfindet. Bei stärkster Streckung liegt der Ursprung des Bandes in der Projektion auf die Femurquerebene nach außen und eher etwas nach hinten (mit Bezug auf das Femur) von der

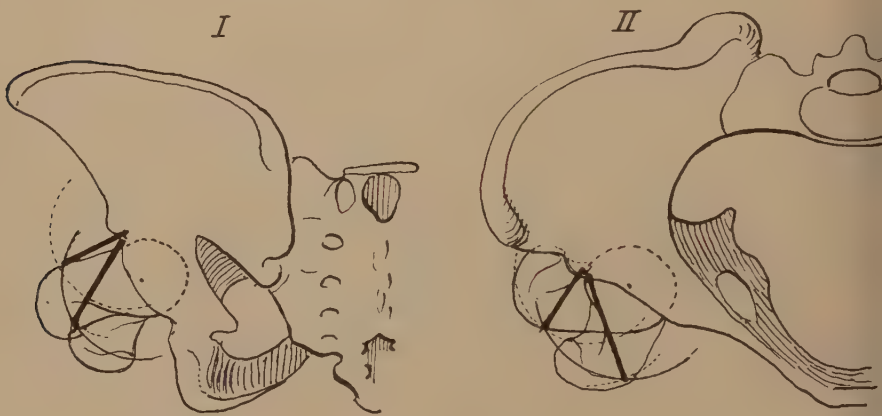


Fig. 55. Verhalten des Lig. iliofemorale bei der Ein- und Auswärtsrotation des Femur. *I* in Beugestellung, *II* in Streckstellung.

Achse. Das Band geht außen an letzterer vorbei nach vorn. Bei der Beugung aber geht es von der Vorderseite des Beines an der Achse außen vorbei nach hinten außen. Schon beim aufrechten geraden Stand wird namentlich das untere Band durch Auswärtsrotation des Oberschenkels (resp. durch horizontale Drehung des Beckens nach der anderen Seite) gespannt.

Wir können auch noch folgende Zusammenstellung machen: Maximale Entspannung des Lig. iliofemorale bei starker Beugung (der unteren Fasern bei allerstärkster Beugung), verbunden mit Abduktion und Einwärtsrotation, maximale Anspannung bei stärkster Streckung, verbunden mit Adduktion, oder auch bei unvollkommener Streckung, Adduktion und Auswärtsrotation; im ersteren Fall werden die unteren, im letzteren die oberen Fasern etwas stärker in Anspruch genommen.

4. Das Lig. ischiofemorale.

(Figg. 47—49, sowie 54, 56 u. 57).

Fig. 56. Verhalten des Lig. ischiofemorale bei Ab- und Adduktion des Femur. *I* in Streckstellung, *II* in Beugestellung.

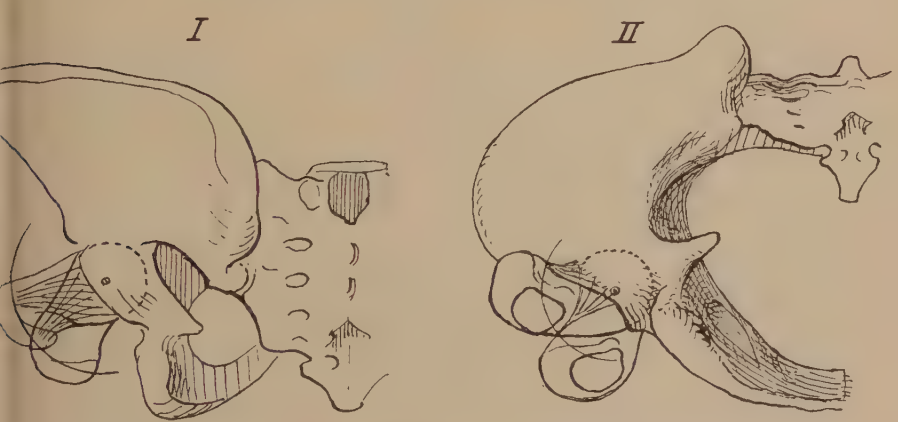


Fig. 57. Verhalten des Lig. ischiofemorale bei Ein- und Auswärtsrotation des Femur. *I* in Beugestellung, *II* in Streckstellung.

Es schließt sich dem Lig. iliofemorale sup. nach hinten zu unmittelbar an. Wir verstehen unter demselben die Fasern, welche vom dorsalen Pfannenrand und namentlich von der Rinne zwischen Tuber ischii und Pfannenrand entspringen und in der hinteren Kapselwand, nach außen konvergierend und, im Mittel (beim aufrechten geraden Stand) nach außen kaum aufsteigend, zum Sattel des Schenkelhalses oberhalb der Fossula trochanterica, innen an der obersten Partie des Trochanter major gelangen.

Bezüglich der Stellungsänderung des Schenkelhalses und -kopfes gilt, daß das Band die Abwärtsrotation dieser Teile und die Neigung des Schenkelhalses nach dem vorderen und inguinalen Pfannenrand am direktesten hemmt. Es spannt sich wie das Lig. iliofemorale bei der Extension des Femur (Fig. 54); außerdem aber geraten seine Fasern in stärkere Spannung bei der Einwärtsrotation des Oberschenkels in Streckstellungen (Fig. 57 II). Bei stärkerer Beugung werden seine dorsalen Fasern, in der Streckstellung, seine obersten Fasern durch Adduktion des Femur stärker angespannt (Fig. 56 II u. I).

Einwärtsrotation in der Beugestellung bewirkt Anspannung namentlich der unteren, Auswärtsrotation bewirkt Anspannung namentlich der oberen Fasern (Fig. 57 I).

Das Band ist mit seinen unteren Fasern maximal erschlafft bei möglichst starker Abduktion des Oberschenkels in mittlerer Hebestellung bei etwelcher Auswärtsrotation.

Eine mittlere Spannung ist vorhanden in der Streckstellung, bei starker Adduktion und Auswärtsrotation des Oberschenkels, oder am stark nach vorn gehobenen Bein bei Abduktion und starker Ein- oder Auswärtsrotation; oder umgekehrt bei mittlerer Längsrotation und stärkerer Adduktion.

5. Das Lig. pubofemorale (superficiale).

(Fig. 52.)

Dieses Band besteht aus verhältnismäßig schwachen Faserstreifen, welche von verschiedenen, der Pfanne benachbarten Stellen des Schambeins (Eminentia iliopectinea, Vorderkante des inguinalen Schambeinastes, Crista obturatoria) entspringen und in der vorderen und unteren Peripherie der Kapsel zum untersten Teil der Ansatzstelle des Lig. iliofemorale hinziehen. Es spannt sich bei der Neigung des Schenkelhalses gegen den dorsalen Pfannenrand und bei seiner Längsrotation nach unten, aber auch bei extremer Längsrotation desselben nach oben und hemmt die betreffenden Bewegungen.

Es spannt sich nur mäßig bei der letzten äußersten Extension des Oberschenkels, unterstützt aber das Lig. iliofemorale inf. bei der Hemmung der Auswärtsrotation des Beines in dieser Stellung, und das Lig. ischiofemorale bei der Hemmung der Abduktion.

Am meisten erschlafft es bei Annäherung des Oberschenkels und Femurschaftes gegen die Symphyse (starke Adduktion bei mittlerer Beugung) und gleichzeitiger Einwärtsrotation.

Bei gebeugtem und gestrecktem Bein wird es durch Abduktion gespannt; seine Spannung wird dabei in der Beugestellung durch Auswärtsrotation, in der Streckstellung durch Einwärtsrotation vermehrt.

6. Genaueres über den Ursprung und Ansatz der Kapsel.

(Fig. 44.)

Zur genaueren Feststellung der Ursprungs- und Ansatzverhältnisse der Kapsel ist es notwendig, daß man die Kapsel durchschneidet und die Gelenkhöhle eröffnet. Die Betrachtung der Gelenkkapsel von innen lehrt an ihr einige neue und wichtige Strukturen kennen.

Der Ursprung der Kapsel findet sich am oberen Umfang des Gelenkes peripher vom Labium glenoidale und läßt letzteres frei in die Gelenkhöhle vortreten. Nach dem unteren Umfang der Pfanne hin nähert sich der Kapselursprung der fibrösen Lippe und nimmt dieselbe mehr und mehr in sich auf; unten geht die Kapsel meist direkt aus dem Lig. transversum acetabuli hervor.

Entsprechend den drei Eminentiae entspringt die Kapsel mit ihren fibrösen Verstärkungen je in einem breiteren, dreieckigen Ursprungsfeld, und auch dem dorsalen Pfannenrand entlang stellt sie Ursprungsfläche eines ziemlich breiten Streifens dar.

Das erste der drei Dreieckfelder des Kapselursprunges zipfelt sich nach dem unteren Darmbeinstachel hin aus (kraniales Dreieckfeld), das zweite am inguinalen Schambeinast (vorderes Dreieckfeld), das dritte gegen das Tuber ischii zu (kaudales Dreieckfeld).

Die Ansatzstelle der Kapsel am Femur liegt im allgemeinen unmittelbar jenseits der dünnsten Stelle des Schenkelhalses, welche bei der maximalen Neigung des Schenkelhalses zum Pfannenrand gegen den letzteren (oder einen allfälligen dem Pfannenrand eng angeschlossenen festen Teil der Kapsel) anstößt. Es gilt diese Grenze als proximale Grenze für den Ansatz der dünnen und weichen Innenteile der Kapsel. Die stärkeren Faserzüge der Kapsel aber, welche bei der entgegengesetzten Stellung des Gelenkes (Entfernung des Schenkelhalses vom Pfannenrand ihrer Seite) gespannt werden, müssen sich zum Teil (oberflächlich) aus der Längskonkavität des Pfannenhalses weiter nach der Peripherie zu ablösen und ihren Anheftungspunkt weiter distalwärts finden. So ergibt sich im allgemeinen für den Gesamtansatz der Kapsel ein mehr oder weniger breites Ansatzfeld, das sich vorn bis zur Linea obliqua, oben bis zur Basis des Trochanter major ausdehnt. Hinten aber, wo stärkere Faseranheftungen am Femur (im Bereiche der Anlagerung des M. obturator externus an den Schenkelhals, s. u.) fehlen und nur eine dünne Kapsel sich an das Femur anheftet, wird tatsächlich die ganze Kapselanheftung über den engsten Teil des Schenkelhalses nicht wesentlich hinausgehen. An gewissen Stellen ist dann aber noch die Möglichkeit einer rückläufigen Faserung der Kapsel, welche sich proximal von der schmalsten Stelle des Schenkelhalses anheftet, gegeben, s. u.

7. Gelenkkapsel von innen.

Zona orbicularis.

Die tiefer gelegenen Faserzüge der Kapsel müssen von der Innenseite her studiert werden. Letztere bietet ein ganz anderes Bild als die Außenseite.

Man gewinnt den besten Überblick über die tiefe Faserung, indem man das ganze Kapselrohr, nachdem es von außen mit seinen Faserverstärkungen präpariert ist, der Länge nach schlitzt (am besten oben oder hinten) und sorgfältig, dicht am Knochen am Ursprung und Ansatz abtrennt. Im Interesse der Orientierung ist es geboten, daß man sich an der Kapsel vor der Abtrennung die Stellen, welche am Ursprung der Eminentia cranialis, pubica und ischiadica und am Ansatz dem oberen und unteren Rand des Schenkelhalses entsprechen, genau markiert. Die verschiedenen Wände der Kapsel können auch partiell in situ in Verbindung mit Femur und Becken von ihrer Innenseite her studiert werden, indem man die übrigen Teile der Kapsel zurückklappt oder wegschneidet und den Schenkelkopf entfernt.

Es ist ferner zweckmäßig, eine präparierte uneröffnete Gelenkkapsel als Modell zu benutzen, um auf derselben den Verlauf der tiefliegenden, von innen erkannten Faserzüge aufzumalen.

Das Kapselrohr verengt sich jenseits des Femurkopfes rasch trichterförmig.

Was bei der Betrachtung von innen vor allem auffällt, ist ein System zirkulärer Fasern, die Zona orbicularis der Gebrüder Weber.

Sie wird meist beschrieben als ein nach der Gelenkhöhle zu freiliegender, ringförmiger, mehr oder weniger wulstartig in die Gelenkhöhle vorspringender, den Schenkelhals umfassender Faserzug. Nach den Brüdern Weber handelt es sich um eine um den Schenkelhals herumgreifende, oben mit ihren beiden Schenkeln an die Spina o. i. ant. sup. befestigte Faserschlinge. Ähnlich fassen Hyrtl, Kocher u. a. die Zona orbicularis auf, als gebildet durch Fasern, welche vom vorderen und hinteren Rande des Lig. iliofemorale distalwärts sich ablösen und unter dem Schenkelhals in der Kapsel schlingenartig ineinander übergehen. Nach Langer und Toldt handelt es sich wesentlich um Fasern, die vom Sitzbein und vom inguinalen Schambeinast entspringen (tiefe Fasern des Lig. ischio- und pubocapsulare) und sich — wohl nach ihrer Meinung in der unteren Kapselwand — überkreuzen. Auch nach Jößl entsteht die Zona orbicularis durch Ausstrahlung der verschiedenen longitudinalen Verstärkungsbänder.

Nach Merkel (Topogr. Anat. III. 665) ist die Zona orbicularis ein in sich geschlossener Faserring, der von dem Lig. iliofemorale, pubofemorale und ischiofemorale, namentlich aber von den beiden letztgenannten Bändern Verstärkungen erhält.

Nach Welcker dagegen, sowie nach Henle und R. Fick ist die Zona orbicularis ein selbständiger, mehr oder weniger vollkommen in sich geschlossener Faserzug, der nirgends mit den Knochen in Verbindung steht.

Wir müssen vor allem diese letztere Auffassung bestreiten.

Unserer Meinung nach ist die Zona orbicularis das Produkt sich zusammenlegender und teilweise überkreuzender, stellenweise auch mit der Längsfaserung verflochtener Fasern, welche zum Teil in spiraligem Verlauf vom Hüftbein zum Femur ziehen, zum Teil aber am Hüftbein entspringen und im Bogen zu ihm zurückkehren. Ein besseres Verständnis für diese Faserung ist zu erhoffen, wenn es gelingt, die funktionelle Bedeutung der einzelnen Züge zu erkennen.

Wenn wir von der Annahme ausgehen, daß die Fasern der Kapsel nach Größe und Richtung Zugeinwirkungen entsprechen, welche sich

geltend gemacht haben und noch geltend machen, so ist klar, daß ein vollständig zum Ring geschlossener, isolierter Faserzug auf Kräfte hinweisen müßte, welche an dieser Stelle die Kapsel allseitig in einem zirkulären Streifen auseinander treiben und dehnen. Eine solche Inanspruchnahme könnte auftreten, wenn der Schenkelkopf in der Richtung des Schenkelhalses die Pfanne verlassen und wie ein Konus in den engeren Hals der Kapsel hineindringen würde. Immerhin müßte der letztere dann durch longitudinale Haltbänder am Pfannenrand festgehalten sein. Ein solches Hinaustreten des ganzen Schenkelkopfes aus der Pfanne findet aber unter normalen Verhältnissen nicht statt. In zweiter Linie könnte man daran denken, daß bei sehr starker Drehung des Femur um die Schenkelhalsachse der Hals der Kapsel auf den Schenkelkopf niedergeschraubt, durch die Reibung am Pfannenrand zurückgehalten, in einem Streifen auf Druck beansprucht, zu einem Faserring verdichtet, und also nicht bloß in spiraligen, vom Hüftbein zum Femur gehenden Linien, sondern schließlich auch in rein zirkulären Linien gedehnt und gespannt wird. In diesem Fall aber müßte doch der Faserring durch longitudinale resp. spiralige Faserzüge sowohl mit dem Pfannenrand als mit dem Femur verbunden sein.

Tatsächlich aber wird die Drehung um die Schenkelhalsachse durch die vom Hüftbein zum Femur verlaufenden Züge gehemmt, bevor es zu einer solchen zirkulären Anpassung und Anspannung der Kapsel kommt.

Dagegen ist von vornherein klar, daß stark spiralig verlaufende Züge, welche bei der Drehung des Schenkelhalses um seine Achse gespannt werden, sich eng an den Schenkelhals anlegen, dort eine Strecke weit fast zirkulär verlaufen und bei ihrer Kreuzung in einem mehr oder weniger weit ausgedehnten Teil des Umfanges der Kapsel einen anscheinend zirkulären Faserzug bilden können.

Dazu kommt nun aber als ganz neuer, wichtiger Umstand, daß die Kapsel, indem sie sich jenseits des Schenkelkopfes verengt, auch in Linien gespannt werden kann, welche am Hüftbein entspringen und wieder zu ihm zurückkehren. Solche Fasern können mit ihren mittleren Teilen einen weiteren Beitrag zu der zirkulären Faserung am Schenkelhals liefern. In der Tat besteht der Faserring wesentlich aus bogenförmigen Fasern, welche am Hüftbein entspringen und enden und sich in der Mitte zu einer ringförmigen Zone zusammenschließen und durchflechten.

Von Wichtigkeit für die Funktion dieser Bogenfasern ist, wie sie sich zu einer Längsebene des Schenkelhalses verhalten, die gleich weit von den beiden Anheftungsstellen entfernt durch den Mittelpunkt des Schenkelkopfes geht und die Oberfläche des letzteren in einem größten Kreis schneidet. Die Ursprünge und die Mitte der Bogenfasern können auf der gleichen Seite oder auf verschiedenen Seiten dieser Ebene gelegen sein. Je nachdem ist die Funktion der Fasern eine verschiedene.

a) Im einen Fall handelt es sich um Fasern, welche an der einen Seite des Pfannenrandes, an mehr oder weniger nahe beisammen liegenden Punkten entspringen und enden, und welche um den Schenkelhals

schlingenförmig herumgreifen (aa′ Fig. 58). Solche Bogenfasern werden angespannt, wenn der von der Schlinge umfaßte Schenkelhals sich nach dem Scheitel der Schlinge hinbewegt.

b) Im anderen Fall handelt es sich um Fasern, welche an einer Seite des Pfannenrandes an möglichst weit auseinander liegenden Punkten entspringen und enden, aber um den Schenkelhals nicht herumgreifen (bb′ in Fig. 58), sondern auf der gleichen Seite desselben verbleiben.

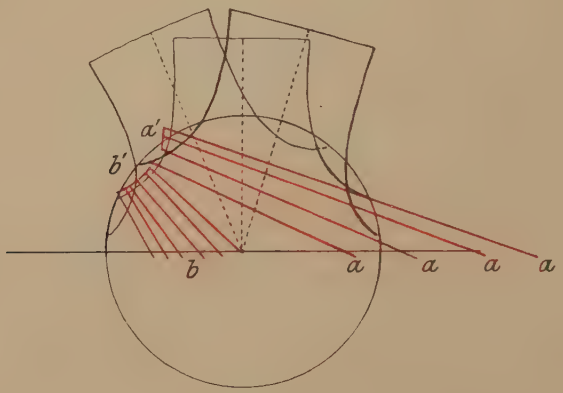


Fig. 58. Verhalten der Bogenfasern.

Sie können gespannt werden, wenn der Schenkelhals sich von ihrer Seite wegbewegt, insofern sie mit ihrem Scheitel in der Auskehlung zwischen dem Schenkelkopf und dem Schenkelhals verlaufen, welche aus dem zur Kugel ergänzten Gelenkkopf gleichsam herausgeschnitten ist. In diesem Fall werden sie von dem unterschnittenen Rand der Gelenkfläche, der an ihrer Seite aus der Pfanne heraustritt, erfaßt, vom Pfannenrand abgehoben und dabei gspannt.

Die genauere Untersuchung der Kapsel von innen her lehrt uns folgendes:

1. In sich selbst zum Ring geschlossene zirkuläre Fasern sind nicht nachweisbar.

2. Ein fester kompakter Zug annähernd zirkulärer Fasern ist an der Übergangsstelle des weiten Teils der Kapsel in das enge Ansatzrohr vorhanden und springt daselbst als flacher Keil in die Gelenkhöhle vor, im ganzen unteren Umfang des Gelenkes bei der Mittelstellung, resp. im hinteren unteren Umfang bei der Grundstellung. Er erstreckt sich von der Gegend proximal vom Tuberculum inf. der Linea obliqua bis zur Gegend proximal von der Fossula trochanterica. Zwischen ihm und dem Femur ist die Kapsel dünn, weich und verschieblich. Gerade entlang diesem dünnen Randteil legt sich der M. obturator externus dem Schenkelhals an. Dagegen hängt diese Fasermasse unten mit dem ventralen Dreieckfeld, namentlich aber mit dem dorsalen Umfang der Pfanne vom kranialen bis zum kaudalen Dreieckfeld durch eine starke Faserung zusammen. Und zwar handelt es sich hauptsächlich um Fasern, welche vom ventralen und kaudalen Dreieckfeld und vom dorsalen Umfang der Pfanne in das Ringstück eintreten, in geringerer Menge auch um Fasern, welche sich demselben vom kranialen Dreieckfeld (und dorsalen Rand) her hinten absteigend beigesellen. Die erstgenannten Fasern gehen zum Teil weiter zum Femur und bilden einen Bestandteil des Lig.

ischiofemorale, zum anderen Teil setzen sie sich als obere Ausstrahlung des Keilstranges über den Schenkelhals hinüber in die vordere Kapselwand fort. Die Fasern, welche auf solche Weise von hinten her oben herum zur vorderen Kapselwand gehen, bilden die obere Ausstrahlung des Faserringes. Die Fasern, welche in das Lig. iliofemorale eindringen, kreuzen dessen Fasern und verweben sich mit ihnen, um zum Teil früher oder später in den Verlauf dieses Bandes distalwärts abzubiegen. Andere Fasern kreuzen das genannte Band vollständig von außen oben nach innen und unten, wobei sie nach der Gelenkhöhle zu mehr oder weniger oberflächlich liegen, und ziehen unter dem dünnen Feld der vorderen Kapselwand vorbei, sich ausbreitend, zum ventralen Dreieckfeld. Nur ein kleiner Teil der Fasern biegt vielleicht um den Schenkelhals unten herum in den Keilstrang hinein und gelangt aus demselben zum kaudalen Dreieckfeld oder weiter aufsteigend zum dorsalen Pfannenrand. Ihnen schließen sich Fasern vom ventralen Dreieckfeld an.

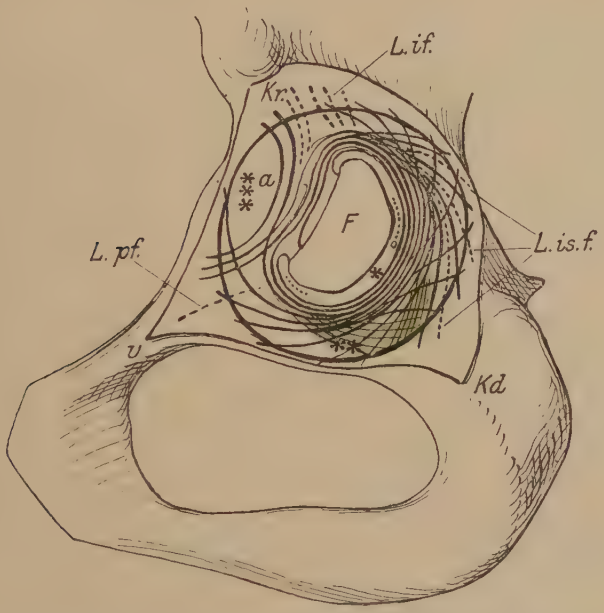


Fig. 59. Schematische Darstellung der Faserung der Zona orbicularis. *v* ventrales, *Kr.* kraniales, *Kd* kaudales Dreieckfeld, *F* Schenkelhals, * dünne distale, ** dünne proximale untere, *** dünne proximale vordere Stelle der Kapsel, *L. if.* (punktierte Linien) Lig. iliofemorale, *L. is.* f. (punktierte Linien) Lig. ischiofemorale, *L. pf.* Lig. pubofemorale.

Da der keilförmige Strang von distinkten Fasern gebildet und, wie erwähnt, besonders dem hinteren Umfang des Pfannenrandes entlang scharf begrenzt und fest ist — er nähert sich in seiner Beschaffenheit einigermaßen derjenigen einer druckfesten Gelenklippe —, so kann man nun wie von einer oberen so auch von einer unteren Ausstrahlung desselben sprechen. Letztere erscheint wesentlich als Fortsetzung der tiefen Fasern, welche vom kranialen Dreieckfeld und dorsalen Pfannenrand in den Keilstrang absteigen, zum Teil auch als Fortsetzung derjenigen Fasern, welche sich ihm vom kaudalen Dreieckfeld nach vorn zu anschließen. Die Ausstrahlung in die vordere Kapselwand beginnt schon neben dem Lig.

transversum. Die Mehrzahl der betreffenden Fasern zieht in der vorderen Kapselwand, weiter auseinandertretend, proximalwärts zum vorderen, der Symphyse und der Leiste benachbarten Pfannenrand. (Die medialsten unter diesen Fasern strahlen an das Lig. transversum des Pfannenrandes und zum ventralen Dreieckfeld. An sie schließen sich Fasern, welche an der medialen Seite des dünnen vorderen Kapselfeldes hinauf zum vorderen Pfannenrand ziehen; weiter folgen nach außen Fasern, welche an der lateralen Seite des vorderen dünnen Kapselfeldes vorbei zur medialen Seite des kranialen Dreieckfeldes gelangen.) Nur ein kleiner Teil der Fasern schließt sich den mittleren Fasern des Lig. iliofemorale ant. proximalwärts aufsteigend an, oder überkreuzt dieses Band und hängt über dem Schenkelhals hinüber mit dem keilförmigen Ringstück der Hinterwand zusammen (s. o.). Ein kleiner Faseranteil endlich biegt, nach Verwebung und Verhakung mit Bogenfasern der vorderen Kapselwand, distalwärts um zum unteren Ansatz des Lig. iliofemorale ant.

Die ganze hier geschilderte obere und untere Faserausstrahlung des Keilstranges liegt in der vorderen Kapselwand in tieferer Schicht und kommt nur in der sog. dünnen Kapselstelle zwischen Lig. pubofemorale und unterem Pfannenrand äußerlich zum Vorschein.

Noch mehr nach der Gelenkhöhle zu liegt hier unten am Gelenk eine schwache Faserung, die vom ventralen Feld am Pfannenrand zum unteren Ende der Linea obliqua verläuft (Lig. pubofemorale profundum). Den Fasern aber, welche, aus dem Ringstück kommend, unten resp. oben herumgehen und in der vorderen Kapselwand das Lig. iliofemorale krenzen, schließen sich oben bogenförmige Fasern an, welche nahe der Gelenkhöhle unter dem vorderen dünnen Feld vorbei vom kranialen zum ventralen Dreieckfeld verlaufen (kurze ventrale Bogenfasern).

Die vordere Kapselwand ist also im unteren und oberen Umfang der dünnen Stelle eine Örtlichkeit, an der Fasern verschiedenster Herkunft zusammentreffen und sich teilweise kreuzen und durchflechten, teilweise auch unter Verhakung in andere Richtungen abbiegen.

In der vorderen Kapselwand fehlt die scharfe Abknickung zwischen dem erweiterten Anfangsteil und dem engen Ansatzrohr der Kapsel; von einer eng zusammengedrängten Ringfaserzone kann hier keine Rede sein, wie schon Henle richtig beobachtet hat. Die Hauptstelle der Kreuzung am Lig. iliofemorale ant. kann eine enggewobene Platte darstellen, deren Faserverlauf in der Nähe der Gelenkhöhle kaum entwirrbar ist.

In Fig. 59 sind die beschriebenen Faserzüge, welche außer den Ligg. iliofemorale, pubofemorale und ischiofemorale in der Kapsel vorhanden sind, schematisch durch ausgezogene, zum Teil farbige Linien wiedergegeben. Die Kreislinie stellt den Rand der linken Hüftgelenkpfanne dar; außerhalb desselben liegen die drei dreieckigen Ursprungsfelder. Im Zentrum ist das Feld F der Querschnitt durch den Schenkelhals bei der Mittelstellung des Gelenkes. Mit punktierten Linien ist der Verlauf der Ligg. pubo-, ischio- und iliofemorale angedeutet. Mit *, ** und *** sind die drei hauptsächlichen dünnen Stellen der Kapsel bezeichnet. Wir erkennen neben der Stelle * die geschlossene Faserung des Keilstranges.

Wir können nun von den oben aufgestellten funktionellen Gesichtspunkten aus folgende Faserzüge, welche die tiefere Faserung der Kapsel und den Keilstrang bilden, unterscheiden:

1. Stärker gewundene, oben und unten am Schenkelhals vorbei durch den Keilstrang verlaufende, wesentlich vom dorsalen Pfannenrand herkommende Spiralfasern, die sich distalwärts dem Lig. iliofemorale anschließen (dieser Anschluß ist in der Figur nicht dargestellt).

2. Lange, um den Schenkelhals herumgreifende Bogenfasern, die am Pfannenrand an der gleichen Seite beginnen und enden, und zwar: a) Fasern vom kranialen Dreieckfeld (und anstoßenden oberen Pfannenrand), die um den Schenkelhals vorn und unten herumgreifen, b) Fasern

vom dorsalen Pfannenrand und kaudalen Dreieckfeld, welche um den Schenkelhals schlingenförmig unten und vorn herumgreifen, c) Fasern vom ventralen Dreieckfeld, welche unten hinten und oben herum zum kranialen und ventralen Dreieckfeld gehen.

3. Hierzu kommen endlich kurze Bogenfasern, welche nicht um den Schenkelhals herumgreifen, nämlich a) wenige vordere kurze Bogenfasern vom kranialen zum ventralen Dreieckfeld, b) untere vom ventralen Dreieckfeld zum dorsalen Pfannenrand, c) wohl auch dorsale kurze Bogenfasern vom kranialen zum kaudalen Dreieckfeld.

Es ist klar, daß die genannten Fasersysteme vielfach ineinander übergehen müssen.

Die Wölbung des Schenkelkopfes ist namentlich hinten und unten jenseits der Gelenkfläche stark unterschnitten. Überschreitet der Rand der Gelenkfläche hier den Pfannenrand, so fängt er sich gleichsam an den durch die Kehle ziehenden kurzen Fasern und hebt sie vom Pfannenrand ab, was nur unter Anspannung der nächsten Befestigungen am Pfannenrand geschehen kann. Besonders sicher verhakt sich der Pfannenrand mit der zirkulären Faserung am Schenkelhals an der unteren Peripherie des Gelenkes, wo der Keilstrang durch einen relativ dünnen Kapselteil vom Pfannenrand getrennt ist. Ich kann die Beobachtungen von Prof. Zimmermann bestätigen, daß der Keilstrang das Haupthindernis für die weitergehende Abduktion des Femur aus der Grundstellung bildet. Er wird zu einem wirklichen Sperrband, das über den Rand der Gelenkfläche nicht proximalwärts abzugleiten vermag.

Ein eigentümlicher Befund ist, daß der untere hintere Rand des von uns als Lig. pubofemorale profundum bezeichneten Faserzuges eine freie Kante darstellt, welche der zur vorderen Kapselwand gehenden unteren Ausstrahlung des hinteren Ringteils an der Gelenkseite offenbar verschieblich aufliegt.

Zusammenschiebung und Faltung der Kapsel.

Das Verhalten der Kapsel bei der Annäherung von Ursprung und Ansatz am Lebenden läßt sich nicht ohne weiteres nach Beobachtungen am Bänderpräparat beurteilen. Zuverlässigere Auskunft geben erst Gefrierschnitte. Danach lassen sich wie am Bänderpräparat so auch an der intakten Leiche resp. beim Lebenden die dickeren Teile der Gelenkkapsel, zunächst ohne eigentliche Bildung größerer Falten, in erheblichem Maße zusammenschieben. Bei stärkster Annäherung muß zuletzt doch eine plumpe Faltung hervortreten. Die zuerst auftretenden feineren Falten laufen je nach Umständen parallel zum Pfannenrand oder schräg zu demselben. So schiebt sich wohl bei der Dorsalbewegung des Schenkelhalses der Ursprung der dorsalen Kapsel proximal von dem Keilstrang zusammen und faltet sich nur unbedeutend. Der Keilstrang schließt sich auf den zusammengeschobenen Teil und auf die Gelenklippe eng auf.

An der vorderen Kapselwand, unter dem Iliopsoas muß die Zusammenschiebung und Fältelung auf den proximalen Teil der Kapsel beschränkt sein. Es verschmilzt ja der Muskel etwas oberhalb des

Trochanter minor eine Strecke weit mit der Kapsel. Oberhalb dieser Stelle ist der dünne Teil der vorderen Kapselwand zwar vom Muskel gelöst, aber zwischen ihn und den Gelenkkopf eingeklemmt. Er wird vom Muskel bei seiner Bewegung über den Kopf mitgenommen, doch nicht ohne gegenseitige Verschiebung (Schleimbeutel). Bei der Kontraktion des Muskels wird er gegen den Pfannenrand hinaufgeschoben und an diesem schließlich gefaltet.

Die der Spina o. i. a. i. benachbarte, durch das Lig. iliofemorale verstärkte Partie der Kapsel kann sich bei der Beugung und Abduktion des Oberschenkels in eine oder mehrere plumpe Falten zusammenschieben und eventuell durch die Rectussehne, wenn sie mit ihr verschmolzen ist, bei der Beugung als Falte herausgehoben werden.

Ein besonders stark faltbarer dünner Streifen der Kapsel ist distal, unmittelbar am Kapselansatz an der hinteren und unteren Peripherie des Schenkelhalses, unter dem M. obturator externus vorhanden. Offenbar bildet das Sperrband einen Ersatz dafür, daß an dieser Stelle jede festere Verbindung der Kapsel mit dem Femur fehlt.

Fibrae recurrentes.

Der erwähnte dünnmembranöse Streifen der Kapsel verbindet den Keilstrang mit dem Schenkelhals. Er erstreckt sich an dessen unterer Peripherie nach vorn bis zum Lig. pubofemorale und iliofemorale resp. bis zu den vom Keilstrang zu diesen Bändern abstrahlenden Fasern.

Die Sehne des Obturator externus liegt am Schenkelhals dicht distalwärts vom Keilstrang der Kapsel, gleichsam als äußere Duplikatur desselben. Sie verschmilzt gegen das Ende mit ihm und dem Lig. ischiofemorale. Sie verschiebt sich bei den Neigungsänderungen des Schenkelhalses seitlich in der Längsrichtung des letzteren zugleich mit dem Keilstrang, wenn auch in etwas stärkerem Maße, so daß z. B. Sehne und Kapselstrang aufeinander und gegen den aus der Pfanne vortretenden Pfannenrand gedrängt werden, wenn der Schenkelhals sich kranialwärts gegen das Darmbein oder auch ventralwärts gegen die Leiste bewegt; bei der umgekehrten Bewegung aber rücken Sehne und Kapselstrang voneinander und von der Randkante des Kopfes ab (Figg. 47 u. 48).

Aus dem Umstand nun, daß bei der Adduktion des Femur der keilförmige Strang vom benachbarten Rande des Gelenkkopfes mitgenommen wird, wenn dieser aus der Gelenkpfanne heraustritt (Bewegung des Schenkelhalses gegen das Darmbein oder die Leiste) und seinerseits wieder die Obturator externus-Sehne mitnimmt, folgt, daß bei dieser Bewegung, bei der man eigentlich eine Längsanspannung der ganzen unteren oder hinteren Kapselwand erwarten sollte, der distale, jenseits des Orbiculus gelegene Kapselteil nur wenig gedehnt und gespannt wird, während durch die Abdrängung des Orbiculus vom Pfannenrand die Dehnung und Spannung wesentlich den proximalen Teil der Kapsel trifft. Man versteht, daß der distale Kapselstreifen sich wenigstens in den zum Femur distalwärts verlaufenden oberflächlichen Teilen durch Dünne und Weichheit auszeichnet.

Bei der umgekehrten Bewegung (Adduktion), bei welcher die gleiche Randkante des Femurkopfes gegen den Pfannengrund rückt, staut sich der proximale Kapselteil mit dem Faserstrang an dem Pfannenrand;

er vermag der Randkante des Kopfes schließlich nicht mehr zu folgen und bleibt hinter ihr außen zurück. Während so gleichsam zu einem Appendix des Pfannenrands geworden ist, kann die untere Portion des Schenkelhalses mit dem Kapselansatz und dem weichen distalen Teil der Kapsel noch weiter über ihm proximalwärts bewegt werden, was um so besser möglich ist, als jetzt der Orbiculus dem Schenkelhals nicht mehr fest anschließt.

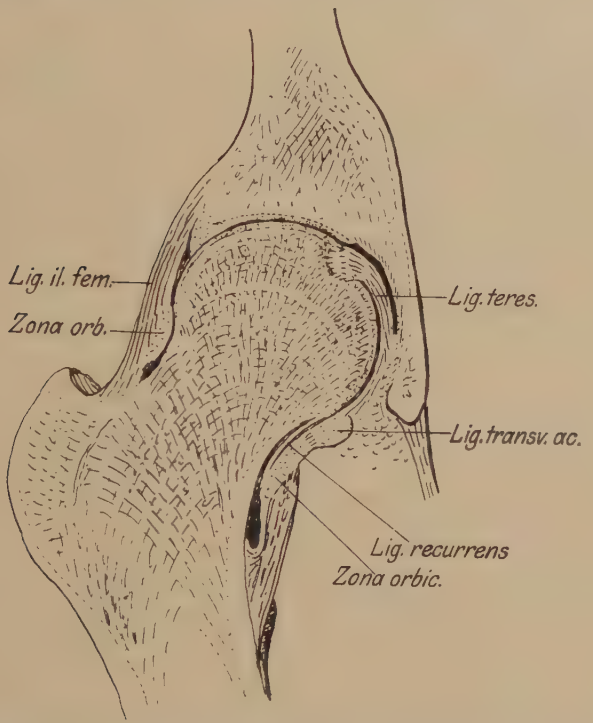


Fig. 60. Längsschnitt durch das Hüftgelenk in der Hauptebene des Oberschenkels bei Adduktionsstellung.

Hierbei werden nun aber mehr und mehr die tiefen Teile der distalen Kapselpartie rückläufig und gespannt.

So erklärt sich, daß dieselben zu einem rückläufigen Band oder besser gesagt zu einem Kranz einzelner rückläufiger Bänder umgewandelt sind, welche von dem distalen Rande des Keilstranges aus an der tiefen Seite des letzteren bis nahe an die Randkante des Femurkopfes emporsteigen (Fasciculi recurrentes, Fig. 60) und an letzterem sich anheften.

Zwischen diesen Fasciculi recurrentes und dem Lig. teres besteht in funktioneller und entwicklungsmechanischer Hinsicht eine weitgehende Analogie.

8. Das Lig. teres (Lig. interarticulare) des Hüftgelenkes.

(Figg. 44 u. 60.)

Der untere Rand der knöchernen Pfanne, der dem Foramen obturatum benachbart ist, zeigt eine Inzisur und auch der anstoßende Grund des knöchernen Pfannenbodens ist dem Rest der Pfanne gegenüber vertieft, ohne Knorpelbelag, eine „rauhe Grube".

In der Fortsetzung des Limbus glenoidalis spannt sich über die Inzisur weg das Lig. transversum acetabuli. Die rauhe Grube aber und die Inzisur sind bis an die kuglige Gelenkfläche des Femurkopfes heran und bis zum Grund der Fovea capitis durch weiches, verschiebliches Gewebe ausgefüllt.

Der Femurkopf ist von dieser Masse abgespalten bis auf eine die Gelenkspalte durchsetzende Gewebsbrücke, welche dem Schenkelkopf anliegt, mit dem verjüngten, fast rundlich strangförmigen oberen Ende in der Fovea capitis angeheftet ist, an dem unteren verbreiterten Ende aber mit dem Ligamentum transversum und dem anstoßenden Teil des weichen Pfannenpolsters zusammenhängt. Diese Brücke ist das Lig. teres.

Die freie Oberfläche des an Fettgewebe reichen Polsters ist zu einer Membran von faszienartigem Charakter verdichtet. Das Lig. teres erscheint zunächst wie ein Zipfel des Polsters, der von einer zeltartigen Fortsetzung dieser Membran bekleidet ist. Eine genauere Untersuchung zeigt, daß das Lig. teres wirklich zum großen Teil fibröser Natur ist und daß namentlich jederseits von den beiden Enden des halbmondförmigen überknorpelten Pfannenbodens starke fibröse Stränge durch das Band zur Fovea capitis treten. Die Tragkraft des Bandes wird auf 15—57 kg (Braune 1875) angegeben. Dieser Stärke entsprechend muß das Band auch zeitweilig durch Zug in Anspruch genommen sein, wie R. Fick mit Recht hervorhebt. Es spannt sich ganz besonders bei Neigung des Schenkelhalses nach dem Foramen obturatum hin und muß als ziemlich leistungsfähiges Hemmungsband der Adduktion des Femur in annähernder Streckstellung resp. der Auswärtsrotation in stärkerer Beugestellung gelten. Die Fovea capitis liegt bei gestrecktem und adduziertem Bein dem höchsten Punkt der rauhen Grube gegenüber, während sie in anderen Stellungen über dem ganzen Gebiet des weichen Polsters des Pfannenbodens verkehren kann. Dem entsprechend bleibt das Lig. teres, ob angespannt oder zusammengeschoben, immer im Gebiet der übrigen Polsterung, die ihm ausweicht. In stärkster Streckstellung hemmt nach Humphrey das Lig. iliofemorale die Adduktion, bevor es zu einer Anspannung des Lig. teres kommt.

Man hat die Bedeutung des Ligamentum teres darin suchen wollen, daß es dem Schenkelkopf, der im übrigen nur vom Ansatz der Kapsel und jenseitigen Stellen her mit Blut versorgt wird, Gefäße zuführt. Daß kleine Gefäßlein von dem Lig. teres her in den Schenkelkopf eindringen können, ist durch Injektionen erwiesen (Luschka, Langer).

Hyrtl behauptete, daß sie nach kurzem Verlauf wieder zurückbiegen. Doch haben andere Autoren feine Anastomosen mit den Markgefäßen nachweisen können. Jedenfalls aber erhält das Lig. teres im Verhältnis nicht mehr Blut als sonst ein Ligament und wird der Schenkelkopf für gewöhnliche Verhältnisse genügend vom Hals und Kapselansatz her mit Blut versorgt. Wohl kann bei einem Schenkelhalsbruch letztere Zufuhr gefährdet sein, aber wenig verständlich erscheint es, daß wegen dieses nur im späteren Alter häufiger vorkommenden Zufalls eine besondere korrigierende Anpassung der Gefäßverhältnisse des Lig. teres ausgebildet sein sollte.

Tatsächlich gelangt beim Schenkelhalsbruch der abgebrochene proximale Teil des Femur, obschon er selbst im ungünstigsten Fall noch wenigstens mit den rückläufigen Teilen des Kapselansatzes in Zusammenhang bleibt, unter ungünstige Ernährungsverhältnisse. Die Callusbildung ist an der Bruchstelle, im Bereiche des rückläufigen Synovialgewebes, das kein eigentliches osteoblastisches Periost darstellt, mangelhaft, und auch die Verbindung mit den Gefäßen des distalen Bruchendes kann nur in mangelhafter und verzögerter Weise vor sich gehen, so daß mitunter eine Nekrose des unvollkommen abgetrennten proximalen Stückes auftritt. Häufig bleibt die Verbindung eine bewegliche.

Einige Autoren (Welcker) haben in dem Lig. teres einen besonderen Apparat sehen wollen zum Einsalben des Gelenkkopfes mit Gelenkschmiere, wobei das Lig. teres als „Wischer" diene. Nach R. Fick ist eine Vorrichtung dieser Art wohl kaum notwendig; es kommt nach ihm wesentlich nur die mechanische Bedeutung des Lig. teres als Hemmungsband in Betracht. Das weiche Polster sei nur wegen des Lig. teres da und fehle, wo das Ligament nicht vorhanden ist. Nach den Untersuchungen von Moser fehlt es noch bei Reptilien; bei einigen niederen Säugetieren steht es noch randständig im Gelenk und bildet nur einen in die Gelenkhöhle vorragenden Pfeiler. Bei einigen Säugern fehlt es ganz, so beim Orang (nach R. Fick) oder es bildet sich nachträglich zurück. Beim Menschen findet man es bei der ersten Ausbildung der Gelenkspalte bereits intraartikulär gelegen. Mitunter fehlt es beim Erwachsenen ganz oder ist nur schwach entwickelt.

Unserer Meinung nach ist bei dem guten Ventilverschluß, der für den Azetabularspalt durch den Limbus glenoidalis gegeben ist, die Vergrößerung der intraazetabulären sezernierenden Fläche zwar nicht ganz bedeutungslos. Eines besonderen Wischers bedarf es indessen bei der zentralen Lage der intraazetabulären Weichteilpartie nicht. Auch ist der Nutzen für die Sekretion doch wohl nur ein nebensächliches Moment. Vielmehr möchte das Vorhandensein einer solchen weichen Partie des Pfannenbodens von folgendem Gesichtspunkt aus am besten verständlich sein: Es ermöglicht dasselbe die Vergrößerung der Pfanne und des ganzen Gelenkumfanges ohne entsprechende Vergrößerung der starren knorpligen Gelenkfläche und der an ihr stattfindenden Reibung. Für die Festigung und knorplige Bekleidung des Pfannenbodens genügt eine Randpartie.

Natürlich sind die besonderen Dispositionen der zur Verfügung stehenden Skelettanlagen zu berücksichtigen. In embryonaler Zeit schon kommt wesentlich der obere Umfang der Pfanne für die Druckübertragung im Gelenk in Betracht, der untere Umfang ist entlastet. Die Festigung des Skeletts bleibt hier hinter dem

Umfang des Schenkelkopfes zurück. Rand und Boden der Pfanne können eine Strecke weit weich bleiben. Längere Zeit fehlt auch noch in der Mitte des Pfannenbodens die Verknorpelung. Nach dem gleichen Prinzip ist auch die unvollkommene Sonderung des Kniegelenkes in zwei auseinander stehende Kondylengelenke und die Durchbohrung der Pfanne beim Hüftgelenk der Vögel zu erklären.

Daß nun aber an der Stelle, wo der Pfannengrund weich ist, die Abspaltung unvollständig bleiben kann, ist gut in Übereinstimmung zu bringen mit der Art des Geschehens bei der Gelenkspaltbildung. Wenn endlich die Gewebsbrücke, weil in der einen Grenzstellung passiv angespannt, teilweise ligamentös umgewandelt wird, so ist dies ebensosehr eine entwicklungsmechanische Notwendigkeit als die Verstärkung der Fasciculi recurrentes an der unteren und hinteren Kapselwand. Bei stärkster Ausbildung soll das Band bis 60 kg tragen können.

δ) Bemerkungen über die Hüftgelenkluxationen und ihre Reposition.

Das Lig. iliofemorale spielt eine besonders wichtige Rolle bei den Hüftgelenkluxationen; es bleibt dabei fast immer intakt (ausgenommen bei den von Bigelow und Kocher sog. unregelmäßigen Luxationen), während die Kapsel einwärts davon oder am unteren Umfang des Gelenkes oder an der Dorsalseite in der Nähe des Pfannenrandes einreißt und den Kopf auf den Pfannenrand oder sogar, namentlich an der Dorsalseite, mit seinem größten Umfang über ihn hinübertreten läßt. Ausnahmsweise kann auch, namentlich bei dorsaler Luxation, ein Teil des Pfannenrandes mit abgesprengt werden. Der Schenkelhals ist im Augenblick der Zerreißung der Kapsel nach der gegenüberliegenden Seite des Pfannenrandes geneigt und findet in der Regel an ihm einen festeren Stützpunkt zur Heraushebelung des Kopfes. Mit der Hebelwirkung kann ein Druck mehr oder weniger parallel der Ebene des Pfanneneinganges verbunden sein, der nach der Seite hinwirkt, wo der Kopf durchtritt.

Als Stützpunkt für die Heraushebelung des Kopfes aus der Pfanne kann der Pfannenrand erst dienen, wenn sich der Schenkelhals auf ihn aufstemmt. Bei Neigung des Schenkelhalses gegen den ventralen Pfannenrand (verbunden mit mehr oder weniger Abwärtsrotation des Schenkelhalses) wird die vordere Kapselwand mit dem Lig. iliofemorale gegen den Pfannenrand zusammengeschoben. Der Pfannenrand wird durch diese Bandmasse gleichsam erhöht, so daß ein Aufstemmen des Schenkelhalses um soviel früher eintritt. Ähnlich verhält es sich mit dem Lig. ischiofemorale und dem Keilstrang des Orbiculus bei dem Anstemmen des Schenkelhalses gegen den dorsalen Pfannenrand. Daß der Schenkelhals sich am kaudalen Pfannenrand anstemmt und der Kopf über den kranialen Pfannenrand hinübergehoben wird, ist wegen des Lig. iliofemorale ausgeschlossen. Auch die nächste Nachbarschaft der Spina o. i. a. i. kann für den Übertritt des Kopfes nicht in Betracht kommen. Zur Heraushebelung über den kaudalen und unteren Pfannenrand muß sich der Schenkelhals oben anstemmen, das Lig. iliofemorale

wird dabei entspannt sein. Je tiefer aber am ventralen oder dorsalen Pfannenrand der Schenkelhals sich anstemmt, desto mehr muß das Lig. iliofemorale angespannt werden; die Achse, um welche die Drehung stattfindet, muß zuletzt durch den betreffenden Stemmpunkt des Pfannenrandes und die Ursprungsstelle des Ligamentes hindurchgehen, so daß im wesentlichen nur die in Fig. 61 dargestellten Stemmachsen in Betracht kommen. Der Schenkelkopf überschreitet dabei den ventralen oder dorsalen Pfannenrand an der Mitte oder unterhalb derselben, indem er sich gleichsam zwischen ihm und dem mehr oder weniger stark angespannten Lig. iliofemorale durchzwängt. Letzteres muß von der Ebene des Pfannenrandes abgehoben und zugleich bei der ventralen Luxation

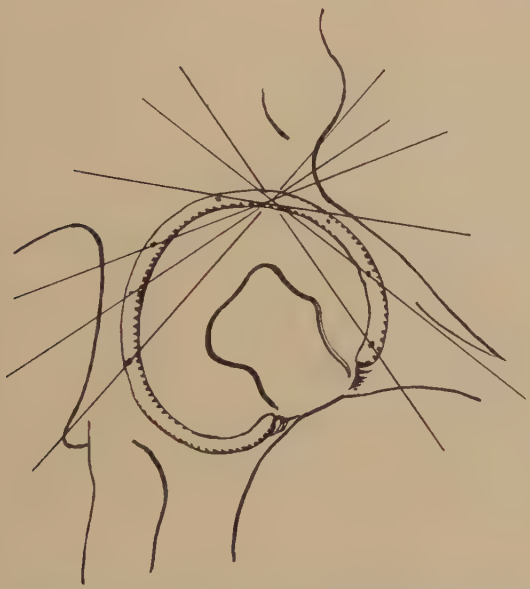


Fig. 61. Stemmachsen bei der Hüftgelenkluxation.

gegen den dorsalen, bei der Dorsalluxation gegen den ventralen Pfannenrand gedrängt werden. Daraus erklärt sich, daß jede höhere ventrale Luxation direkt nur durch eine Extensions-, Auswärtsrotations- und Abduktionsstellung des Femur hindurch stattfinden kann, eine deutlich dorsale Luxation aber nur durch eine Beugungs-, Einwärtsrotations- und Adduktionsstellung hindurch. Das Lig. teres wird bei jeder Art von Luxation immer (nahe am Ansatz) zerrissen.

Von der Stellung, welche der Schenkelhals und Kopf im Augenblick der Kapselzerreißung einnehmen, kann verschieden sein die Stellung, welche nach erfolgtem Durchtritt des Kopfes eingenommen wird (sekundäre Luxationsstellungen), indem auch bei — zunächst in gleicher Weise — weitergehendem Einfluß der äußeren Kräfte die Bedingungen für

den Fortgang der Bewegung geändert sind (veränderte Bahn, veränderte Widerstände), sodann aber auch eine Veränderung in der Disposition der äußeren Kräfte selbst eintreten kann. Die sekundären Umstellungen beruhen meist in einer größeren oder geringeren Circumduktion des Kopfes am äußeren Umfang des Pfannenrandes. Es wird namentlich leicht bei tiefem Durchtritt des Kopfes durch Aufsteigen des letzteren am vorderen oder hinteren Pfannenrand eine tiefere ventrale oder dorsale Luxation in eine höhere umgewandelt. Das Aufsteigen wird früher oder später durch die nicht zerrissenen Teile der Kapsel und der darüber gelegenen Muskeln gehemmt. Das zeigt sich besonders klar bei der Luxatio ischiadica.

Reposition.

Um den Kopf zu reponieren, muß man denselben durch den Kapselriß zwischen dem Pfannenrand und dem Lig. iliofemorale hindurch in die Pfanne zurückbringen. Dies ist nur möglich, wenn der Kopf, der vielleicht an der unversehrten Kapsel und den bedeckenden Muskeln emporgestiegen ist und sich mit ihnen verhakt hat, an diejenige Stelle des Pfannenrandes, in deren Nachbarschaft der Kapselriß entstanden ist, und in die Stellung, welche er beim Durchtritt einnahm, zurückgebracht ist, und wenn jetzt das Lig. iliofemorale genügend vom Pfannenrand abgehoben wird, um den Kopf unter sich durchzulassen. Das genannte Band bildet bei unzweckmäßigen Repositionsversuchen das Haupthindernis der Reposition, während es bei genügender Berücksichtigung der anatomischen und mechanischen Verhältnisse des luxierten Gelenkes in vorzüglicher Weise zur einfachen und eleganten Reposition benützt werden kann, wie solches zuerst von Kocher in klassischer Weise erläutert und demonstriert worden ist.

Das Prinzip der von Kocher empfohlenen „Elevations-Rotationsmethode" der Reposition läßt sich vielleicht in folgender Weise ganz allgemein formulieren:

a) Das erste ist die Entspannung des Lig. iliofemorale und seine Abhebung von der Pfannenrandebene; sie gelingt, indem man die Innenseite des Femur auf kürzestem Wege durch Hebung des Femur und ohne anderweitige Drehung gegen die Spina o. i. a. i. hinbewegt (Elevation).

b) Aus der so erreichten Stellung muß der Oberschenkel in seiner Längsrichtung kniewärts gezogen werden, so daß das Lig. iliofemorale in der vom Pfannenrand abgehobenen Stellung gestreckt wird und möglichst in die Längsrichtung des Oberschenkels zu liegen kommt. Damit verbindet man eine Drehung des Beins parallel der Pfanneneingangsebene, durch welche der Schenkelkopf an diejenige Stelle des Pfannenrandes gebracht wird, welche dem Kapselriß mutmaßlich benachbart liegt. Mit der Drehung verbindet sich unter Umständen mit Vorteil ein seitlicher Schub auf den Oberschenkel in der Nähe des Gelenkes parallel der Pfanneneingangsebene, von der Luxationsseite her nach der entgegengesetzten Seite hin, um das Lig. iliofemorale möglichst

in der Längsrichtung des Oberschenkels und möglichst abgehoben vom Pfannenrand der Luxationsseite zu erhalten und den Schenkelkopf möglichst auf die Höhe des Pfannenrandes zu bringen; ferner wird eventuell eine leichte Längsdrehung des Beins (Einwärtsrotation bei dorsaler, Auswärtsrotation bei ventraler Luxation) hinzugefügt, nur so weit als nötig ist, um den Kopf etwas vom Pfannenrand abzuheben und mobil zu machen, unter Benutzung des gegenüberliegenden Pfannenrandes als Stützpunkt.

c) Nun erfolgt, bei abgehobenem und angespanntem Lig. iliofemorale eine Drehung des Beins parallel einer Ebene, welche senkrecht zum Pfannenrand steht, an der Stelle, wo der Kopf ihm anliegt, oder allenfalls bei dorsaler oder ventraler Lage des Kopfes außen etwas der Spina a. i. zugeneigt ist.

Diese Drehung ist die hauptsächliche Drehbewegung, durch welche der Kopf über den Pfannenrand hinübergebracht werden soll. Bei ventraler Lage des Kopfes ist sie im wesentlichen eine Einwärtsrotation, bei dorsaler Lage eine Auswärtsrotation. Je mehr der Kopf und der Kapselriß nach der Seite des Tuber ischii zu gelegen sind, desto mehr muß diese Drehung mit Abduktion verbunden sein.

Das Lig. iliofemorale hebt sich dabei von selbst noch mehr von der Pfanneneingangsebene ab und stellt sich mehr senkrecht zu derselben; zugleich bewegt es sich von selbst ähnlich einem Zeiger mit oberem Fixpunkt an der Pfanne vorbei zur Seite, in umgekehrter Richtung wie der Schenkelkopf. Indem es sich dabei noch stärker anspannt, wird sein Ansatz zum Hypomochlion für die Drehung des Femur. Es stellt sich von selbst in möglichst großen Abstand über die Stelle des Pfannenrandes, über welche der Kopf hinübertreten soll, und vermag sich dank der vorausgegangenen Elevation so weit von derselben abzuheben, daß der Kopf über den Pfannenrand hinüber, durch den Kapselriß in die Gelenkhöhle und Pfanne hineinschlüpfen kann.

d) Den Schluß des Verfahrens bildet die Rückführung des reponierten Femur in die Grundstellung.

ε) Entwicklung des Hüftgelenkes.

Gestalt und Entwicklung der Gelenkkörper. Die kongenitale Hüftgelenkluxation.

Für den praktischen Arzt und Chirurgen ist wichtig eine genaue Kenntnis der Ansatzstellen der Gelenkkapsel am Femur und ihr Verhalten zu den Epiphysenlinien am jugendlichen Körper. Der Schenkelhals ist gewissen außergewöhnlichen mechanischen Einwirkungen auf den Oberschenkelknochen gegenüber nicht genügend gefestigt, so daß er bricht, und es ist natürlich für den Heilungsverlauf eines Schenkelhalsbruches nicht gleichgültig, ob die Frakturstelle intra- oder extrakapsulär liegt. Auch die Epiphysenlinien, so lange sie noch bestehen, sind Stellen größerer Nachgiebigkeit gewissen mechanischen Einflüssen gegenüber und von Bedeutung nicht bloß für die normale

Ausgestaltung der Skelettform, sondern auch für die hier häufig vorkommenden pathologischen Deformationen.

Bekanntlich setzt die Ossifikation der Diaphyse des Femur schon ungefähr in der 7. Woche des embryonalen Lebens ein. Sie ergreift rasch den ganzen Schaft des Femur, läßt aber zunächst ein einheitliches unteres und oberes Knorpelende frei. Letzteres umfaßt den Kopf, den Hals und die Trochanteren. Später erst tritt, zuerst um die Zeit der Geburt im unteren Gelenkende, ein neuer Ossifikationskern auf. Im Verlaufe des ersten Lebensjahres nach der Geburt bildet sich ein besonderer Ossifikationskern im Kopf. Es schreitet zugleich die Diaphysenverknöcherung ihm entgegen in den Schenkelhals fort und erreicht dort zunächst über dem Trochanter minor die Oberfläche, während die Trochanteren noch knorplig bleiben. Durch diesen Vorgang wird nun der Knorpel des Trochanter minor als besonderer Apophysenknorpel vom Knorpel des Gelenkkopfes abgetrennt. Später geschieht dasselbe auch mit dem Knorpel des Trochanter major. Die Knorpelschicht, welche die Diaphyse vom Ossifikationskern des Gelenkkopfes trennt, wird mit der Zeit immer schmaler und liegt bald ganz proximal vom Kapselansatz. Sie wölbt sich zuletzt als dünne Platte (sog. Epiphysenlinie) proximalwärts ziemlich weit in das Innere des Gelenkkopfes hinein und erreicht unten die Oberfläche im Bereich der Gelenkfläche, während sie oben distalwärts vom Rand derselben bleibt.

Im abgetrennten Apophysenknorpel des Trochanter major beginnt die Ossifikation im 3.—4. Lebensjahr, im Trochanter minor erst im 13.—14. Lebensjahr. Die Epiphysenlinie des Kopfes verschwindet erst im 20. Lebensjahr. Die Diaphyse verschmilzt mit dem Apophysenkern des Trochanter major schon im 18. Jahre, mit demjenigen des Trochanter minor noch etwas früher.

Nach Eröffnung des Gelenkes und Exartikulation des Femurkopfes aus der Pfanne soll zum Schluß die Gestalt der Gelenkflächen genauer inspiziert werden zur Verifikation und Kontrolle der auf S. 86 u. ff. gemachten Angaben über die Gestalt des Femurkopfes. Ein einfaches Mittel, um ein Hauptprofil der Krümmung zu erhalten, ist die Anfertigung eines Sägeschnittes; man wählt dafür z. B. die Hauptebene des Femur oder eine dazu senkrecht stehende Längsebene des Schenkelhalses oder eine Ebene senkrecht zur Hauptebene, welche den Mittelpunkt des Schenkelkopfes und die Mitte des ersten Profiles trifft usw.

Um aber mehrere Profile zugleich bestimmen zu können, oder wo das Material geschont werden muß, empfiehlt es sich, weiche Wachs- oder Plastilinplatten in der betreffenden Ebene an die Gelenkfläche anzulegen und sie unter möglichster Erhaltung des ebenen Verlaufes allmählich soweit zu formen, bis eine genaue Berührung in allen Punkten des Profils erreicht ist. Legt man nun die Platte auf ein Blatt Papier, so kann man mit Nadel oder Bleistift die Profillinie nachzeichnen. Von der Pfanne läßt sich ein Plastilin- oder Gipsausguß gewinnen. Von dem Gipsausgusse können ebenfalls Profile gemessen werden.

Untersuchungen dieser Art können ohne viel Umstände im Präpariersaal angestellt werden. Man muß freilich darauf gefaßt sein, mitunter stärker deformierte Gelenkkörper anzutreffen, namentlich bei älteren Leuten (Arthritis deformans). Auf den Rand der Kopfgelenkfläche und die Art des Überganges vom Kopf zum Hals ist besonders zu achten. Für genauere Darstellung beliebiger Profile, die einer Ebene, oder mehreren parallelen Ebenen entsprechen, würde es sich empfehlen. einen besonderen Profilator zu konstruieren, was keine Schwierigkeiten bieten kann. Zur Gewinnung von Silhouetten, die aber nicht immer genau einer Ebene entsprechen, genügt unter Umständen ein scharfer Schattenriß. Von ganz besonderem Wert aber scheint das von R. Helwig ausgebildete optische Projektionsverfahren zu sein (s. S. 88).

Bezüglich der Veränderung der Form des Schenkelkopfes nach der Geburt verweisen wir auf S. 88. Über die erste Entwicklung des Hüftbeins, Oberschenkels und Hüftgelenkes siehe namentlich Petersen (1893, Arch. f. An. u. Phys. A. A.) und Friedländer (Zeitschr. f. orth. Chir. Bd. 9).

Die erste Spur des Hüftbeines erscheint in der 5. Woche als ein zwischen dem N. cruralis, ischiadicus und obturatorius in der Rumpfwand gelegenes, von der Wirbelsäule abgegrenztes Blastem, an dem man einen dorsalen, einen ventralen kranialen und einen ventralen kaudalen Schenkel unterscheiden kann. Der mittlere Teil, von welchem diese Schenkel ausgehen, hängt mit dem verdichteten axialen Blastem des Anfangsteiles der freien Extremität zusammen. In letzterem ist die histologische Entwicklung bereits bis zur Bildung eines vorknorpligen Zentrums fortgeschritten. Etwas später entsteht auch in den drei Strahlen des koxalen Blastems je ein anfänglich isolierter vorknorpliger Herd. Später vereinigen sich alle drei, wo sie mit der Femuranlage zusammenstoßen. Ferner vereinigen sich die ventralen Schenkel der Anlage jederseits zunächst unter sich; etwas später erst entsteht kranial der Zusammenschluß in der Symphyse. Mit dem Fortschreiten der Verknorpelung grenzen sich Acetabulum und Femurkopf schärfer ab, so daß die Hauptkrümmung der hier zusammenstoßenden Skelettstücke ausgeprägt ist, bevor noch (zu Ende des dritten Monats) die Gelenkspaltbildung beginnt (s. I. Teil d. Lehrb. S. 90), aber unserer Meinung nach doch wohl in Abhängigkeit der geweblichen Sonderung von den einwirkenden mechanischen Kräften und kleinen lokalisierten Besonderheiten der Gewebsspannung und Gewebsverschiebung. Verschiedenheiten in der Lage und Schwankungen in der Spannung der Muskeln können offenbar schon vor der Spaltbildung die Formgestaltung beeinflussen. Auch nach erfolgter Gelenkspaltbildung ist diese Abhängigkeit von Bedeutung: Auch weiterhin entwickeln sich Kopf und Pfanne in charakteristischer, genau kongruenter Gestaltung dank ihrer gegenseitigen mechanischen Einwirkung aufeinander, obwohl wir annehmen müssen, daß nicht bloß der Gelenkkopf, sondern daß auch die Pfanne, nachdem sie einmal in ihrer Form geprägt ist, ein gewisses selbständiges Vermögen besitzt, die gewonnene Form beim weiteren Wachstum zu bewahren. Daß letzteres der Fall ist, schließen wir aus den Experimenten von Braus (1910), der bei der Unke, nach frühzeitiger Beseitigung eines Teiles des Anlagematerials des Schultergürtels beobachtet hat, wie die Pfanne mit der Zeit in ihrer Größenentwicklung gegenüber dem Humeruskopf zurückblieb, ihre Höhlung aber beibehielt, obschon der Kopf durch künstlichen Eingriff von ihrem Grund abgehoben war.

Nach den Experimenten von Braus scheint nun zwar die Möglichkeit zu bestehen, daß primäre Veränderungen am Anlagematerial des Hüftknorpels, namentlich Defekte an diesem Material, schließlich zum Inkongruentwerden von Femurkopf und Pfanne und zum Austritt des Kopfes aus der Pfanne Veranlassung geben können. Häufiger werden aber doch wohl, bei anfänglich normalen Verhältnissen des Gelenkes, Abänderungen in der Stellung des Beins durch veränderte Wirkungsweise der Muskeln oder äußeren Kräfte (veränderte Verhältnisse der Eihäute etc.) die Hinausschiebung und Hinaushebelung des Kopfes aus der Pfanne bewirken, wobei dann sekundär, infolge davon, auch die Gestalt der Gelenkkörper eine Veränderung erfahren muß.

Die kongenitale Hüftgelenkluxation ist immer eine dorsale

Luxation, welche offenbar ganz allmählich, bei gebeugtem Femur und ventralwärts zum Pfannenrand geneigtem Schenkelhals, durch anhaltenden Schub in der Richtung des Oberschenkels gegen den dorsalen Pfannenrand und die dorsale Seite der Kapsel hin ohne Zerreißung der letzteren zustande kommt. Die Bedingungen dafür scheinen namentlich bei stark flektiertem, adduziertem und einwärtsrotiertem, eng an den Bauch angelegtem, zur anderen Seite aufsteigendem Oberschenkel gegeben zu sein. Anfänglich handelt es sich um eine tiefe dorsale Luxation, die erst nachträglich bei der Entbeugung des Oberschenkels in eine hohe dorsale Luxation (L. iliaca ohne Kapselriß) umgewandelt wird.

Besondere Schwierigkeit macht die Erklärung der Tatsache, daß die kongenitale Hüftgelenkluxation bei Mädchen ungleich häufiger vorkommt als bei Knaben (Verhältnis von 13 : 2). Es kann hierfür kaum ein anderer Grund gefunden werden, als eine schon in embryonaler Zeit auftretende namhafte Geschlechtsdifferenz in der Form des Beckens, welche beim Hinzutreten der oben genannten Bedingungen die Hinüberschiebung des Femurkopfes über den hinteren Pfannenrand begünstigt. Vom fünften Monat des embryonalen Lebens an tritt nach Fehling ein deutlicher Unterschied zwischen dem männlichen und weiblichen Becken hervor, indem sich bei ersterem die größte Breite des Beckeneinganges unmittelbar vor der Articulatio sacroiliaca befindet, bei letzterem aber weiter nach vorn liegt. Dementsprechend seien beim Knaben die Hüftgelenkpfannen mehr ventralwärts, beim Mädchen mehr nach der Seite gerichtet. Dieser Umstand erklärt nach Hirsch, daß der Kopf des in ungewöhnlicher Lage gehaltenen Femur beim weiblichen Fötus leichter nach hinten abgleitet. Braus hat die recht plausible Vermutung geäußert, daß die stärkere Entfaltung der Müllerschen Gänge zum Uterus und zur Vagina, welche zu einer Zeit auftritt, da das Symphysengewebe noch weich ist, namentlich wenn die Bildung der Exkavation des Kreuzbeins nicht rechtzeitig einsetzt, den Anstoß zur Ausbildung der Geschlechtsdifferenz des Beckens geben könnte.

G. Die Wirkung des Luftdruckes am Hüftgelenk.

1. Orientierung. Historisches und Kritisches.

An den Gelenken im allgemeinen und besonders schön am Hüftgelenk läßt sich unter geeigneten Bedingungen eine Wirkung des Luftdruckes zum Zusammenhalt der Gelenkkörper und Gelenkflächen beobachten. Sämtliche Weichteile und Muskeln um das Hüftgelenk herum, ja selbst die Gelenkkapsel mit ihren Verstärkungsbändern können durchschnitten sein, ohne daß bei nach unten gewendeter Hüftgelenkspfanne der Gelenkkopf des Femur, der Wirkung der Schwere auf das ganze Bein folgend, die Pfanne verläßt (Weberscher Versuch).

Wie bereits hervorgehoben wurde, greift der durch den Limbus glenoidalis und das Lig. transversum dargestellte Pfannenrand über den größten Umfang des Schenkelkopfes hinüber. Unter normalen Verhältnissen, d. h. wenn in der intra- und extraazetabulären Gelenkflüssigkeit der gleiche Druck herrscht, liegt die fibröse Randlippe dem Gelenkkopf leicht federnd an. Doch genügt, wie die Gebrüder Weber gezeigt haben, bei angebohrtem Pfannenboden das Gewicht des von den Muskeln entblößten oberen Drittels des Femurs, um den Limbus so weit zu erweitern, daß der Kopf durchschlüpft.

Ist der Pfannenboden nicht angebohrt, und hat der Limbus seine normale Biegsamkeit (was an Formalinleichen nicht der Fall ist), so führt jede noch so geringe Bewegung des Schenkelkopfes vom Pfannengrund weg zu einer Herabsetzung und Aufhebung des Druckwiderstandes des zuvor zusammengepreßten Knorpelüberzuges der Pfanne und zur Herabsetzung des Druckes in der intraazetabulären Flüssigkeitsschicht zwischen dem Kopf einerseits, der Pfanne und Innenseite des Limbus andererseits. Indem außerhalb des Limbus der Gewebs- und Flüssigkeitsdruck derselbe bleibt, entsteht ein äußerer Überdruck am Limbus, welcher diese biegsame Lippe enger an den Gelenkkopf anpreßt. Der Faserring wirkt wie eine luftdicht anschließende Ventillippe. Das Zuströmen von extraazetabulärer Flüssigkeit in den intraazetabulären Gelenkraum ist unter diesen Umständen verhindert. Es sind also die gleichen Verhältnisse hergestellt wie bei einer Pumpe, deren luftdicht schließender Kolben bis zum Grunde des Pumpenstiefels eingeführt war und nun, nach Verschluß aller Öffnungen, durch welche die Flüssigkeit im Pumpenstiefel entweichen konnte, vom Grunde des letzteren abgezogen wird, unter Wahrung des luftdichten Kolbenschlusses. Bei genügend großer distrahierender Gewalt vermindert sich der Druck in der Flüssigkeitsschicht, welche den Kolben vom Grund des Stiefels trennt (und von welcher wir annehmen, daß sie nicht verdampft), bis auf 0. Eine weitergehende Distraktion kann nur unter Zerreißung der Flüssigkeitsschicht und Bildung eines luftleeren Raumes und entgegen dem vollen Überdruck der auf dem Kolbenquerschnitt lastenden Atmosphäre vor sich gehen. Das Wichtige an den bekannten Versuchen der Gebrüder Weber ist, daß letztere mit ihnen den ventilartigen luftdichten Anschluß der Gelenklippe im Falle einer wirklichen Abhebung des Schenkelkopfes vom Pfannengrund bewiesen haben.

Sie zeigten (Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge 1836, § 64, S. 147 ff.) an einem auf einem horizontalen Brett auf dem Bauch liegenden Leichnam an dem frei über den Rand der Unterlage herabhängenden Bein in vier Versuchen, daß der Oberschenkelkopf in der Pfanne bleibt, nachdem man alle um das Hüftgelenk herumliegenden Muskeln durchgeschnitten hat, und daß solches auch dann noch geschieht, wenn außerdem die Kapsel mit den Bändern ringsherum, unter Schonung der Gelenklippe durchtrennt ist; daß aber der Kopf sofort die Pfanne verläßt, sobald die knöcherne Pfanne unter Vermeidung des Lig. teres und seiner Nachbarschaft durchbohrt wird; daß endlich der sorgfältig reponierte Kopf wieder in der Pfanne festgehalten wird, wenn man das Bohrloch mit dem Finger geschlossen hält. Die Gebrüder Weber haben aus diesen Versuchen geschlossen, daß der Luftdruck soviel oder nur ein wenig mehr, als das Gewicht des gesamten Beines mit seinen Muskeln ausmacht, zu tragen vermag. Das Labium glenoidale

wirke dabei als Ventil, welches das Eindringen von Luft oder Gelenkflüssigkeit in die azetabuläre Gelenkspalte verhindere.

Die Basis der tragenden Luftsäule berechneten die Gebrüder Weber für ihren Versuch auf 47 × 25 qmm (= 11,75 qcm), wobei 47 mm das Maß ist für den größten Horizontaldurchmesser der Pfanneneingangsebene, 25 mm das Maß für den Abstand der Fovea acetabularis vom oberen Rand der Pfanneneingangsebene. Diese Fläche von $11^3/_4$ qcm beträgt nur ungefähr 60 % der ganzen Pfanneneingangsebene. Sie entspricht ungefähr der Projektion des überknorpelten Teiles der Pfannenfläche auf die Pfanneneingangsebene (ihres abwärts sehenden Teiles auf die Horizontalebene). Der auf ihr lastende Luftdruck beträgt für einen Barometerdruck von 750 mm Quecksilber (das spezifische Gewicht des Quecksilbers annähernd zu 13,6 angenommen) 11,980 kg. Das Gewicht des Beines kann ungefähr zu 10 kg beim Lebenden gerechnet werden.

Die Versuche der Gebrüder Weber sind vielfach wiederholt und im wesentlichen bestätigt worden. Ja, es hat sich ergeben, daß durch den Luftdruck am Leichnam noch ein erheblich größeres Gewicht getragen wird als jene Forscher gefunden haben. Die Versuche müssen allerdings so angestellt werden, daß nicht eine Heraushebelung des Gelenkkopfes um den einen Pfannenrand stattfindet, weil in diesem Fall der Gelenkkopf die Pfanne relativ leicht verläßt (F. Schmid, 1874).

Auch gelingen die Weberschen Versuche nicht, wenn die Gelenklippe z. B. infolge von Formalinbehandlung der Leiche ihre Biegsamkeit und Beweglichkeit eingebüßt hat.

Nach Henke[1]) und F. Schmid[2]) wird auch dann, wenn das angehängte Gewicht senkrecht zur (direkt nach unten gerichteten) Pfanne einwirkt, eine erheblich größere Belastung vom Luftdruck getragen, als die Gebrüder Weber bei ihrer Versuchsanordnung gefunden haben.

So beobachtete F. Schmid bei einer Weite des Faserrings von 52 mm und einem größten Durchmesser des Femurkopfes von 54 mm (größter Querschnitt des Femurkopfes = $27^2 \times 3{,}14 = 22{,}9$ qcm) eine Tragfähigkeit von 18,25 kg.

Die beiden Autoren heben hervor, daß nicht bloß der **obere**, abwärts gewendete Abschnitt der Pfanne als Basis der tragenden Luftsäule angenommen werden müsse (Weber), sondern die größte Querschnittsfläche des Schenkelkopfes. Dies würde im obigen Fall für 712 mm Quecksilber Barometerdruck eine Luftdruckwirkung von 22,9 × 967 = 22,1 kg ergeben. Daß die im Versuch beobachtete Tragfähigkeit geringer ist, als dieser Berechnung entspricht, wurde von F. Schmid auf die Unvollkommenheit des Gelenkapparates zurückgeführt.

A. E. Fick (1878) kam zu ähnlichen Versuchsergebnissen. Er erklärt das Manko aus dem Umstand, daß der äußere Luftdruck durch das weiche Gewebe der Inzisur und der Auspolsterung der Fovea acetabuli, wenn auch nicht völlig ungehemmt, doch teilweise auf den intraazeta-

---

[1]) Henke, Anatomie und Mechanik der Gelenke. 1863.

[2]) Fr. Schmid, Über Form und Mechanik des Hüftgelenkes. Inaug.-Diss. Bern 1874.

bulären Teil der Gelenkkopfoberfläche einwirken könne, so daß als Querschnitt der tragenden Luftsäule doch nicht der volle Betrag der größten Querschnittsfläche in Betracht komme. Man beobachtet tatsächlich, daß sich bei der Belastung des Oberschenkels das genannte weiche Gewebe in die Tiefe zieht, resp. in wechselnder Weise mit Luft füllt. Wir glauben, daß diese Erklärung der Versuchsergebnisse eine völlig zutreffende ist, und daß die abfällige und heftige Kritik derselben durch Aeby (1880) nicht berechtigt war.

Zur raschen Berechnung des auf den Querschnitt des Schenkelkopfes von außen einwirkenden Luftdruckes kann man sich folgende Zahlen merken:

Pro qcm ergibt sich ein Luftdruck von 1 kg bei einem Barometerstand von 735,5 mm Quecksilber (das spezifische Gewicht des Quecksilbers zu 13,596 angenommen).

Für einen größten Durchmesser des Schenkelkopfes von 5 cm ergibt sich eine größte Querschnittsfläche von annähernd 20 qcm (19,64).

Fr. Schmid hat nachgewiesen, daß entgegen der Meinung von Rose die Wirkung der Adhäsion und der Kohäsion der Gelenkflüssigkeit für den Zusammenhalt des Hüftgelenkes nicht wesentlich in Betracht kommt, vermögen diese Kräfte doch nicht einmal das obere Femurende für sich allein zu tragen. Aeby (1876) aber dehnte die Versuche zur Bestimmung der Wirkung des Luftdruckes auch auf die übrigen Gelenke aus und fand, daß in allen Gelenken der Luftdruck ausreicht, um für sich allein das Gewicht des ganzen distal von dem betreffenden Gelenk gelegenen Körperabschnittes und manchmal ein Vielfaches desselben zu tragen.

Gelenke	Belastete Oberfläche in qcm	Tragkraft des Gelenkes		Verhältnis der Tragfähigkeit zum Gewicht d. dist. Abschn.
		berechnet	beobachtet	
Schultergelenk	6	5808	3090	nahezu 2:1
Ellenbogengelenk . . .	9	8712	3750	3
Erstes Handgelenk . .	4	3872	630	nahezu 2
Erstes Gelenk des 2. bis 5. Fingers	1	968	233	5—7
Erstes Fußgelenk . . .	9	8712	4500	7
Zweites Handgelenk . .	—	—	—	1
Kniegelenk	—	—	—	kaum 1
Zweites Fußgelenk . . .	—	—	—	3
Erstes Gelenk des Hallux	—	—	—	7:1

Diese Zahlen gelten für einen Barometerstand von 712 mm Hg.

Bei den meisten der hier angeführten Gelenke fehlt eine Gelenklippe, die als Ventillippe dienen könnte. Es darf also nicht auffallen, daß die beobachtete Tragkraft hinter der aus den Gelenkflächen berechneten zurückblieb, sondern eher, daß überhaupt irgendwelcher tragender Einfluß des Luftdruckes konstatiert werden konnte. Solches ist nur zu erklären durch die Annahme, daß bei diesen Versuchen die Kapsel nicht durchschnitten war und außen an derselben noch andere, wenn auch nicht direkt tragende, so doch einigermaßen steife Weichteile erhalten waren, welche das Eindringen der Gelenkkapsel zwischen die Gelenkflächen gehindert haben.

Wird der Weber sche Versuch am Hüftgelenk bei einer Stellung des Beckens vorgenommen, welche dem aufrechten geraden Stand entspricht, so muß das am Schenkelkopf nach unten wirkende, zur Herausziehung des Kopfes aus der Pfanne gerade hinreichende Gewicht (Beingewicht + Belastung) größer sein als beim Versuch mit direkt nach unten gewendeter Pfanne. Wie H. Buchner[1]) (1878) und A. E. Fick[2]) (1878) hervorgehoben haben, kommt nämlich nur diejenige Komponente des senkrecht durch den Schenkelkopf nach unten wirkenden Gewichtes für die Herausziehung des Kopfes aus der Pfanne in Betracht, welche senkrecht zur Eingangsebene der Pfanne wirkt. Ein senkrecht dazu nach innen unten gerichteter Anteil wird vom unteren Pfannenrand getragen.

2. Die ökonomische Bedeutung der Wirkung des Luftdruckes am Hüftgelenk.

Die Gebrüder Weber haben aus ihren Versuchen geschlossen, daß auch beim Lebenden das freie Bein durch den Luftdruck äquilibriert und in der Pfanne gehalten werde, ohne Mitwirkung der Muskeln, und daß solches namentlich beim Gang eine wichtige Rolle spiele, indem nicht bloß Muskelkraft und eine kunstvolle Muskelaktion zur Vorführung des freien Beines gespart, sondern namentlich die Beweglichkeit des Beines (wegen der Erschlaffung der Muskeln) erhöht und die Reibung im Gelenk vermindert werde, so daß es einfach, der Wirkung der Schwere folgend, ohne wesentliche Widerstände am Gelenk nach vorn pendeln könne.

Die Anschauungen der Gebrüder Weber über die Funktion des Faserrings am Hüftgelenk als eines Ventils, durch welches unter Umständen am Hüftgelenk die Verhältnisse einer Büchse mit luftdicht eingefügtem Kolben, wenigstens gegenüber nach außen ziehenden Gewalten hergestellt werden, ist theoretisch völlig richtig und durch alle Nachuntersuchungen bestätigt worden. Eine ganz andere Frage ist es, ob während des Lebens von dieser Einrichtung in ausgiebigem Maße Gebrauch gemacht wird, und ob es sich wirklich um eine so eminent nützliche Einrichtung handelt, wie es die Gebrüder Weber angenommen haben. Fr. Schmid hat, ohne in dieser Beziehung Zweifel zu äußern, gezeigt, daß in der gewöhnlichen Streckstellung und ganz besonders bei der Abduktion die Spannung der vorderen und oberen Kapselwand selbst eine unbedeutende Distalwärtsschiebung des Femurkopfes im Gelenk, die sonst stattfindet, bevor der Faserring luftdicht anschließt — es soll im ersten Augenblick sogar noch etwas Synovia aus dem subkapsulären in den azetabulären Teil des Gelenkraumes eintreten können — gar nicht zustande kommen läßt. In gleicher Weise hebt auch Henle hervor, daß der Zusammenhalt des Gelenkes in der Streckstellung allein durch die Bänder bewirkt werde.

Viel weiter ging Rose (1865), der auf Grund von Experimenten behauptete, daß der Luftdruck für das Zusammenhalten der Gelenke gar nicht in Betracht komme, daß dieses vielmehr durch die Muskeln und Bänder (und zum geringen Teil durch die Adhäsion der Gelenkflächen und Kohäsion der Gelenkschmiere) bewerkstelligt werde. Die

[1]) Buchner, Zur Frage der Hüftgelenksfixation. His' Arch. 1878.
[2]) A. E. Fick, Zur Mechanik des Hüftgelenkes. His' Arch. 1878.

Opposition gegen die Schlußfolgerungen der Gebrüder Weber ist dann aber namentlich von H. Buchner 1878 wieder aufgenommen und teilweise von A. E. Fick (1878), später auch von N. A. Gierken (1895) u. a. unterstützt worden.

Die Gebrüder Weber haben wesentlich auf Grund der von ihnen beobachteten Beziehungen zwischen der Bein- und der Schrittlänge als bewiesen angesehen, daß die Muskeln des Hüftgelenkes zur Vorführung des freien Beines beim Gang nicht mitwirken. Nun muß aber eine gewisse Abhängigkeit der Schrittlänge und der Schrittdauer von der Beinlänge auch unter der Voraussetzung der Mitbeteiligung der Muskeln erwartet werden (verschiedene Trägheitsmomente etc.). Auch haben Duchenne (1867), A. E. Fick (1878), Straßer (1880), Braune und in besonders glänzender Weise O. Fischer (1903 und 1904) diese Lehre der Gebrüder Weber bekämpft. Wir müssen in der Tat annehmen, daß die Muskeln der Hüfte die Vorführung des freien Beines beim Gehen unterstützen und sich also in größerer oder geringerer Spannung befinden. Letzteres gilt sicher auch unter gewöhnlichen Umständen für die Hüftmuskeln des frei herabhängenden Spielbeines beim Stand. Demnach pressen die Muskeln beim freien Bein mit einer größeren oder geringeren Kraft M den Schenkelkopf gegen den Pfannengrund. Es fragt sich nur, ob diese Gewalt im Mittel größer oder geringer ist als die in der Richtung des Schenkelhalses nach außen ziehende Komponente P′ des Beingewichtes. Nur im letzteren Fall würden die beiden Einwirkungen zusammen eine auswärts gerichtete Resultierende P′—M haben. Für M=P′ muß natürlich der intraazetabuläre Druck gleich dem äußeren Luftdruck sein, für M > P′ wird die Gelenkflüssigkeit im Azetabularspalt unter höheren Druck gesetzt und ausgepreßt. Gleichgewicht wird dadurch hergestellt, daß der Kopf gegen diejenigen Teile der Unterlage, die nicht ausweichen können, stärker angepreßt wird und von ihrer Seite stärkeren Widerstand erfährt; der allenfalls in offener Kommunikation mit der äußeren Gelenkflüssigkeit unter dem Kopf verbleibende Teil der Gelenkschmiere kann dabei nur Atmosphärendruck haben. Ein Überdruck des äußeren Luftdruckes über diesen intraazetabulären hydrostatischen Druck besteht nicht. Daß unter solchen Umständen der Luftdruck das Bein tragen hilft, wäre ganz ebenso, als wenn man annehmen wollte, der äußere Luftdruck helfe einen Tisch tragen, der umgekehrt, mit den vier Beinen oder der Tischplatte nach oben, gegen die Zimmerdecke gedrückt wird und diese mit seinen Füßen in einiger Breite unmittelbar berührt.

H. Buchner und A. E. Fick haben schon ausdrücklich anerkannt, daß beim freihängenden Bein am Lebenden im intraazetabulären Gelenkspalt nicht, wie Weber annahm, ein negativer Druck, sondern mindestens Atmosphärendruck oder sogar Überatmosphärendruck (ein positiver Druck nach gewöhnlicher Bezeichnungsweise) herrscht. Nur hat H. Buchner die Verhältnisse richtiger aufgefaßt als A. E. Fick, welch letzterer der Meinung war (der auch R. Fick huldigt), daß man in diesem Falle ebenso gut vom äußeren Luftdruck als von dem Muskelzug sagen könne, daß er das Bein tragen helfe. Die Sache ist un-

zweifelhaft so, daß der Luftdruck gar keinen Teil des Beingewichtes trägt und einzig die Muskeln die Last des Beines zu tragen haben, sobald der intraazetabuläre Druck im ganzen dem äußeren Luftdruck gleich oder größer als derselbe ist.

Zusammenfassung.

Wenn man von dem nützlichen tragenden Einfluß des Luftdruckes an den Gelenken spricht, so kann dabei natürlich immer nur der Überdruck des äußeren Luftdruckes gegenüber dem intraazetabulären (hydrostatischen) Druck gemeint sein, der sich an den intralimbischen Flächen des Gelenkkopfes äußert, sei es, daß dieselben noch mit der Pfanne in Berührung oder von ihr durch eine Flüssigkeitsschicht oder durch einen leeren oder gaserfüllten Raum getrennt sind. Ein solcher Überdruck kann nur vorhanden sein, wenn infolge einer wirklichen, wenn auch noch so kleinen Distalwärtsbewegung des Kopfes der intraazetabuläre Druck kleiner geworden ist als der Atmosphärendruck; er kann nur bestehen bleiben und allenfalls noch weiter sich vergrößern, wenn infolge desselben die biegsame Gelenklippe sich luftdicht überall an den Kopf anlegt und das Zuströmen äußerer Gelenkflüssigkeit in den Azetabularraum unmöglich macht.

Der intraazetabuläre Druck kann nun wohl kaum andauernd oder auch nur während längerer Zeit negativ im gewöhnlichen Sinne des Wortes (d. h. kleiner als der Atmosphärendruck) sein, indem doch wohl dabei eine vermehrte Transsudation aus den Gefäßen, in welchen ein positiver Druck herrscht (Lig. teres, weiches Polster der Gelenkpfanne), stattfinden müßte. Daß etwa im Hüftgelenk eines längere Zeit hindurch frei herabhängenden Beines beim gesunden Menschen intraazetabulär irgendwelche Flüssigkeitsansammlung stattfindet, dafür haben wir keinen Anhaltspunkt.

Solange also nicht durch direkte Messung nachgewiesen werden kann, daß beim Lebenden bei frei herabhängendem Bein der intraazetabuläre Druck negativ ist, oder solange nicht durch exakte Versuche gezeigt wird, daß die Resultierende der gegen die Pfannenmitte wirkenden Komponenten der Ruhespannungen sämtlicher Hüftmuskeln zu gering ist, um der entgegengesetzt gerichteten Komponente des Beingewichtes Gleichgewicht zu halten, müssen wir die Lehre der Gebrüder Weber von der ständigen Mitwirkung des Luftdruckes zum Zusammenhalt der Glieder in den Gelenken entgegen der Schwere für irrtümlich halten. Die weitverbreitete Meinung, daß ein Überdruck der äußeren Luft über den intraazetabulären Druck in irgend erheblichem Grade bei den gewöhnlichen Stellungen und Bewegungen am Hüftgelenk besteht und eine erhebliche Ersparnis an Muskelanstrengung bedeutet, und daß Ähnliches auch für die übrigen Gelenke gilt, ist jedenfalls zur Zeit in keiner Weise begründet. (Übrigens wäre es kein reiner Gewinn, wenn der Luftdruck das freie Bein oder einen Teil seines Gewichtes tragen würde. Die betreffende Last wäre nur gleichsam unten weggenommen und dafür der betreffenden Rumpfhälfte oben aufgeladen,

indem ja ein gleich großer Überdruck auch von oben durch den Rumpf hindurch gegen den Gelenkraum wirken müßte.)

Dagegen soll nicht bestritten werden, daß die Möglichkeit des luftdichten Anschlusses der Faserlippe einen großen und wichtigen Schutz gewährt gegenüber plötzlichen distrahierenden Einwirkungen. Es steht hier gleichsam eine Kraft bis zu ca. 20 kg an jedem Hüftgelenk gegen solche unerwartete Einwirkungen in Reserve, welche automatisch im Bedürfnisfall zur Entwicklung und Verwendung kommt. Wenn man von einer Muskelarbeitsersparnis sprechen will, so besteht sie vorzugsweise darin, daß eine solche Reserve für den Kraftschluß des Hüftgelenkes nicht durch einen beständigen höheren Tonus der Hüftgelenkmuskulatur geschaffen zu sein braucht.

Übrigens darf nicht übersehen werden, daß auch die reflektorische Kontraktion der gesamten Gelenkmuskulatur solchen unerwarteten distrahierenden Einflüssen gegenüber einen gewissen Schutz gewähren kann, eine Vermutung, die H. Buchner geäußert hat.

Den hier vertretenen Standpunkt in der Lehre von der Wirkung des Luftdruckes an den Gelenken habe ich seit vielen Jahren eingenommen, und war das Obige geschrieben schon vor dem Erscheinen des II. und III. Bandes des Lehrbuches von R. Fick. Dieser Autor hält immer noch an der Annahme der Mitwirkung des Luftdruckes für den Zusammenhalt der Gelenke auch unter den gewöhnlichen Bedingungen, wenn die Wirkung der Muskeln gegen das Gelenk größer ist als diejenige der distrahierenden Kräfte, fest. Gerade beim Hüftgelenk ist es nach ihm besonders nötig, „daß dem Herabgleiten des Kopfes aus der Pfanne, z. B. bei herabhängendem, nicht unterstütztem Bein, kräftigst entgegengewirkt wird, weil das Bein ein so großes Eigengewicht besitzt. Beim Arm ist das Bedürfnis infolge der geringen Schwere längst nicht so dringend".

In der Diskussion über die Wirkung des Luftdruckes an den Gelenken hat man leider mehr als nötig dem Gegner unwissenschaftliche und unphysikalische Denkweise vorgeworfen. Manche Differenzen würden verschwinden bei sorgfältigerer Formulierung des eigenen und besserer Würdigung des fremden Standpunktes.

Speziell die Frage, ob der Luftdruck zum Zusammenhalt der Gelenke etwas beiträgt oder nicht, wenn der Muskelzug für sich allein den distrahierenden Kräften Gleichgewicht hält, wird man verschieden beantworten, je nach der Art und Weise, wie man im allgemeinen die Kräfte, welche an der unmittelbaren Berührungsstelle zweier Körper wirken, in Rechnung bringt. Die Frage klärt sich sofort, sobald man genau auseinanderhält — und solches ist möglich —, das was im genannten Fall beim Hüftgelenk direkt und indirekt der Luftdruck leistet, und das was auf Rechnung des Muskelzuges und eventueller distrahierender Kräfte (inkl. Schwere) zu setzen ist.

Es möchte heute wohl ziemlich allgemein anerkannt sein, daß die gegen das Gelenk hin gerichteten Komponenten des Muskelzuges selbst in der Ruhe das im Gelenk frei aufgehängte Glied zu tragen vermögen. Senkrecht zur Pfanneneingangsebene und durch dieselbe hindurch wirken dann folgende Kräfte aufeinander und halten sich am Femur Gleichgewicht:

1. Die Resultierende M der genannten Muskelzugskomponenten.
2. Der äußere Luftdruck A am Femur, soweit er gegen die Pfanneneingangsebene wirkt.

Diese beiden Kräfte sind gegen die Pfanne hin gerichtet.

3. Die senkrecht zur Pfanneneingangsebene gerichtete Komponente P′ des Beingewichtes.
4. Die senkrecht zur Pfanneneingangsebene gerichteten Komponenten der von der Pfanne oder Synovia her auf die Gelenkfläche des Femurkopfes einwirkenden Widerstände, deren Resultierende wir mit D′ bezeichnen wollen.

P′ und D′ wirken in der Richtung von der Pfanne nach dem Schenkelhals hin.

D ist also unter gewöhnlichen Verhältnissen, wenn keine plötzlichen distrahierenden Kräfte wirken $= M + A - P'$. Man kann an dieser Kraft einen Anteil D_A aussondern, der absolut gleich groß, aber umgekehrt gerichtet ist, wie A, und einen Rest, welcher der Einwirkung $M - P'$ Gleichgewicht hält. M ist $\gtrless P'$ laut Voraussetzung. Hinsichtlich des zwischen den Gelenkflächen wirkenden Druckes (und Gegendruckes) D_A verhalten sich nun die im Gelenk zusammenstoßenden Körper genau ebenso wie irgend zwei voneinander getrennte, aber ohne Dazwischenkunft einer Luftschicht sich eine Strecke weit berührende Körper. Wenn ein Gewicht auf einer Wagschale liegt, so wirkt genau genommen von der Wagschale her auf das Gewicht nicht bloß der Druck, der dem Gewicht Gleichgewicht hält, sondern von der Unterseite der Wagschale und von der Oberseite des Gewichtes her wirkt auch der Luftdruck gegen die Berührungsstellen hin, an denen die trennende Luftschicht fehlt. Es kommt hier also zu dem Druck, der dem Gewicht gleich ist und dem entsprechenden Gegendruck noch ein Druck und Gegendruck hinzu, welcher dem Atmosphärendruck auf die Berührungsfläche gleich ist. Ebenso wie den direkt an dem einen Körper angreifenden Luftdruck, so vernachlässigen wir für gewöhnlich den indirekten, durch den benachbarten Körper und die Berührungsstelle hindurch auf ihn einwirkenden Atmosphärendruck. Ganz dieselben Verhältnisse haben wir nun nicht bloß an horizontalen, sondern auch an vertikalen oder irgendwie schräg gerichteten unmittelbaren Berührungsflächen verschiedener voneinander getrennter Körper oder Körperteile. Durch diese Flächen hindurch hält immer der Luftdruck, der auf den einen Körper wirkt, dem Luftdruck, der auf den anderen Körper einwirkt, Gleichgewicht. Wir haben also rings um jeden Körper herum Atmosphärendruck und sind gewohnt, diesen Druck in unseren Betrachtungen zu vernachlässigen. Diesem Gebrauche gemäß können wir beim Hüftgelenk, wenn $M > P_1$, den Teil D_A des Gelenkdruckes, der eigentlich nichts anderes ist, als indirekter, durch den Nachbarkörper hindurch einwirkender Luftdruck, zusammen mit dem direkt auf das Bein einwirkenden Luftdruck vernachlässigen. Ihrer Gesamteinwirkung gegenüber verhält sich das Bein, als ob es rings von Luft umgeben wäre. Nichts vom Gewicht des Beines wird durch sie getragen. Die Gegenwirkung gegen die auf das Bein einwirkende Schwerkraft muß, soweit es sich um die Komponente P_1 handelt, von den Muskeln übernommen werden. Wenn wir also vom Luftdruck im allgemeinen sprechen, unter Berücksichtigung auch des Luftdruckes, der auf den suprafemoralen Körperteil einwirkt, so ist es vollständig berechtigt zu sagen, daß er in keiner Weise das Bein tragen hilft, immer vorausgesetzt, daß $M \geqq P_1$, was selbst auf höchsten Bergen und ohne besondere Muskelanstrengung immer noch der Fall ist. Und was die Beteiligung am Zusammenschluß der Gelenkkörper betrifft, so darf man sagen, daß unter den gleichen Bedingungen der auf den ganzen Körper wirkende Luftdruck an den Gelenken nichts weiter leistet, als überall der Fall ist, wo sich Körper oder Körperteile unmittelbar (oder durch Vermittelung einer Flüssigkeitsschicht) berühren. Erst wenn distrahierende Kräfte (zusammen mit P_1) das Übergewicht bekommen über M, und das Eindringen von Flüssigkeit oder Luft mit Atmosphärendruck in den entstehenden Zwischenraum verhindert ist, ändert sich der Sachverhalt, wie früher auseinandergesetzt wurde.

Zum Schluß sei mir gestattet, noch auf eine kleine Inkorrektheit in den Deduktionen von R. Fick (Handb. II, S. 59) hinzuweisen. Der genannte Autor spricht dort von einem Hohlzylinder, der am einen Ende geschlossen und mit dem Boden nach oben gewendet ist. In denselben sei ein luftdicht schließender Kolben eingeschoben und der Zwischenraum zwischen diesem und dem Boden sei mit Flüssigkeit gefüllt. Die Dimensionen seien so gewählt, daß der Luftdruck an der Unterseite des Kolbens dem Gewicht des letzteren und der darüber gelagerten Flüssigkeit Gleichgewicht halte. Dann soll die Flüssigkeit nach R. Fick unter Atmosphärendruck stehen. Dies kann nicht richtig sein. Vielmehr ist in diesem Fall der Druck in der obersten Schicht der Flüssigkeit $= 0$. Beim Ausziehen des Kolbens muß ferner nach R. Fick eine Arbeit geleistet werden, welche der Überwindung des äußeren Luftdruckes an der Kolbenfläche über eine bestimmte Weg-

strecke entspricht. Er vergißt beizufügen, daß gleichzeitig die Schwere an Kolben und Flüssigkeit (von der man natürlich annehmen muß, daß sie nicht verdampft) eine gleich große positive Arbeit leistet. Die zur Bewegung des Kolbens notwendige Arbeit besteht also einzig in der Überwindung des Reibungswiderstandes.

Ein analoger Versuch läßt sich natürlich auch am Hüftgelenkpräparat bei gut schließendem Limbus ausführen. Sind die distrahierenden Kräfte inklusive Gewicht des Beines (P_1) größer als M, so muß natürlich, worin wir mit R. Fick durchaus einverstanden sind, ein luftleerer Raum im Gelenk entstehen, entsprechend der Torricellischen Leere im Barometer. Dieser Raum kann nicht sofort durch Exsudat ausgefüllt werden. René du Bois-Reymond hat dies bestritten durch den Hinweis, daß ja dann beim leisesten Anstoß der Femurkopf in oszillatorische Bewegungen geraten müßte, wie die Quecksilbersäule im Barometer, wenn sie durch vorübergehenden Einfluß zum raschen Sinken gebracht würde. Am Hüftgelenkpräparat aber ist die Bewegung nur einsinnig. Die richtige Erklärung des unterschiedlichen Verhaltens liegt nicht in der von R. Fick angedeuteten Richtung, sondern vielmehr darin, daß beim Sinken des Quecksilbers im Barometerrohr das Niveau im anderen Schenkel des kommunizierenden Gefäßes steigt und umgekehrt, so daß bei jeder Bewegung des Quecksilbers die nötige potentielle Energie zur Umkehr der Bewegung gewonnen wird. Beim Hüftgelenk findet aber etwas Derartiges nicht statt.

Mit den Auseinandersetzungen über Druck und Luftdruck, welche Th. Christen bei Gelegenheit der Kritik einiger der Ausführungen von R. Fick vom Standpunkt des Physikers aus gemacht hat, glaube ich mich in guter Übereinstimmung zu befinden. Ich glaube aber gezeigt zu haben, daß man auch ohne den von Christen entwickelten Begriff des „reduzierten Druckes“ das wahre Sachverhältnis klarmachen kann.

H. Die Feststellung der Hüftgelenke im Stand.

Die Bedingungen zur Feststellung auf der Seite des Standbeines beim Stehen auf einem Bein sind leicht zu übersehen, während die Analyse der Bedingungen des Stehens auf beiden Beinen gewisse Schwierigkeiten darbietet.

α) Stand auf einem Bein.

Das Hüftgelenk des Standbeins teilt den Körper in ein Ober- und ein Unterstück; das erstere besteht aus dem freien Bein und dem Stamm mit den Schultern und oberen Extremitäten. Wir denken uns dasselbe ebenso wie das Unterstück als in sich starr. Der Partialschwerpunkt des Standbeines fällt bei gestrecktem Knie ungefähr in die Beinlinie (die gerade Verbindungslinie des Hüftgelenkes und der Mitte des oberen Sprunggelenkes). Die Lage des Schwerpunktes des Oberstückes läßt sich bei bekannter Konfiguration einigermaßen bestimmen. Die Lotrechte aus dem Gesamtschwerpunkt geht durch die Unterstützungsfläche (das Unterstützungspolygon) des Standbeines. Liegt der Partialschwerpunkt des Oberstückes (S_o Fig. 62) nach einer bestimmten Seite von der Gesamtschwerlinie ab, so muß sich der Schwerpunkt S_b des Standbeines, aber auch das Hüftgelenk H auf der entgegengesetzten Seite dieser Schwerlinie befinden. Die Beinlinie steigt also durch den Beinschwerpunkt schräg zum Hüftgelenk auf. In diesem Fall muß

sich der Widerstand des Bodens durch zwei Kräfte ersetzen lassen, von denen die eine dem Gewicht des Beines G_b, die andere der Schwere des Oberstückes G_o Gleichgewicht hält, und welche beide mit der Gesamtschwerlinie in einer Ebene liegen. Die Beinlinie wird annähernd in die gleiche Ebene fallen. Der auf das Oberstück wirkende Anteil des Widerstandes kann sich durch die Hüfte auf das Oberstück nur vermittels zweier Kräfte übertragen, von denen die eine als Druck D gegen das Gelenk, die andere als Zug M an derjenigen Seite des Gelenkes wirkt, welche der Seite des Partialschwerpunktes des Oberstückes entgegengesetzt ist. Diese Zugkraft kann unter Umständen, in extremer Gelenkstellung, ganz oder teilweise in Zugwiderständen der Gelenkkapsel und Bänder bestehen, muß aber im übrigen durch Muskelkräfte repräsentiert sein. (Ihre Gegenwirkung auf das Bein gibt zusammen mit der Widerstandskomponente — G_0 den Druck D.)

Fig. 62.

Auf die einzelnen Fälle wollen wir nicht eingehen. (Natürlich müssen außerdem am Knie und Fußgelenke Kräfte wirken, welche diese Gelenke gegenüber der Einwirkung der Schwere der darüber gelegenen Körpermasse feststellen; sie brauchen hier nicht berücksichtigt zu werden.)

β) Stand auf beiden Beinen.

Solange es sich um eine vollständig symmetrische Konfiguration mit vertikal gestellter Medianebene und symmetrischen Krafteinwirkungen handelt, bietet die Frage nach den Bedingungen der Feststellung der Hüftgelenke auch beim zweibeinigen Stand keine besondere Schwierigkeit. Man kann sich in diesem Fall die beiden Beine gleichsam zu einem einzigen Unterstück starr verbunden denken und die beiderseits symmetrisch wirkenden Kräfte durch mediane Resultierende ersetzen. Es bestehen dann in der Mittelebene ähnliche Verhältnisse wie beim Stand auf einem Bein in der Vertikalebene der Partialschwerpunkte. Anders verhält es sich bei asymmetrischer Konfiguration und asymmetrischen Krafteinwirkungen. Das dreigliedrige System läßt sich hier nicht auf ein zweigliedriges zurückführen, ist vielmehr noch dadurch kompliziert, daß die Unterstücke durch eine Art „Kraftschluß" mit den Fußenden an zwei getrennten Stellen am Boden festgehalten sind, sich aber um dieselben drehen können. Man darf geradezu von einem geschlossenen Gestänge sprechen, in welchem drei der Stangen durch die beiden Unterstücke und das Oberstück des Körpers gebildet werden, der Boden aber die vierte, ruhende Stange darstellt. Die Lehre von den Ketten und Gestängen spielt in der technischen Mechanik eine wichtige Rolle und ist gut durchgearbeitet (s. namentlich Reuleaux, l. c.).

Für den Menschen ist die Frage nach den Feststellungsbedingungen der Hüftgelenke beim Stand auf beliebig gestellten Füßen meines Wissens bis jetzt nicht allgemein behandelt worden.

Ich möchte zunächst auch hier wieder einige vereinfachende Voraussetzungen machen. Erstens lasse ich den Fall außer Betracht, in welchem die Schwerlinie des ganzen Körpers nicht in den Bereich der Unterstützungsfläche der Füße fällt. Hier sind außer den Widerständen des Bodens unter den Füßen noch weitere äußere Widerstände (Unterstützungen) nötig, um den Körper, auch wenn er in den Hüftgelenken festgestellt ist, unterstützt zu halten.

Ferner aber nehme ich zunächst an, daß alle drei Partialschwerpunkte (des Oberstückes und der beiden Unterstücke), sowie die Angriffspunkte der Fußwiderstände in derselben vertikalen, durch die gemeinsame Hüftgelenkachse (die „Hüftlinie") gelegten Ebene liegen. Später erst sollen auch die Möglichkeiten berücksichtigt werden, daß die Lotrechte durch den Gesamtschwerpunkt vor oder hinter der Hüftlinie gelegen ist, oder daß die Ebene der drei Partialschwerpunkte, welche auch den Körperschwerpunkt treffen muß, vor oder hinter der Hüftlinie vorbeigeht oder sich mit derselben schneidet. Unter allen Umständen verteilt sich das Gewicht G des ganzen Körpers nach ganz bestimmtem Gesetz auf die beiden Fußpunkte, und zwar so, daß die Belastungen den Abständen der Fußpunkte von der Schwerlinie umgekehrt proportional sind. Unter den Fußpunkten verstehe ich die Angriffspunkte der Resultierenden des Widerstandes unter jedem Fuß. Für unsere Betrachtung genügt es, einen einfachen Drehpunkt des Unterschenkels gegenüber dem Fuß anzunehmen und denselben mit dem Angriffspunkt der Resultierenden des Widerstandes zusammenfallen zu lassen. Der rechte und linke Fußpunkt seien mit μ_r und μ_l bezeichnet, der Abstand des ersten von der Schwerlinie mit ϱ, der des zweiten mit λ. Die Resultierenden der Fußwiderstände W_r und W_l zerlegen wir in die vertikalen Komponenten W_{rv} und W_{lv} und in die horizontalen Komponenten W_{rh} und W_{lh}. Letztere können unter Umständen $= 0$ sein; jedenfalls müssen W_{rh} und W_{lh} als einzige horizontale Kräfte, welche laut Voraussetzung auf den Körper einwirken, einander an Größe gleich, der Richtung nach entgegengesetzt sein.

Unter allen Umständen schneiden sich ferner die Kraftlinien der Fußwiderstände W_l und W_r in der Lotrechten durch den Gesamtschwerpunkt des Körpers, sei es oberhalb des Bodens, wenn sie aufwärts konvergieren, sei es unterhalb des Bodens, wenn sie nach oben divergieren; eventuell treffen sie sich in ∞ Entfernung (wenn Horizontalkomponenten nicht vorhanden sind).

Die beiden Hüftgelenkmittelpunkte seien mit H_r und H_l, die Hüftgelenklinie sei der Kürze halber mit HH (Hüftlinie) bezeichnet.

Es liegen dann verschiedene Möglichkeiten vor:

1. Vereinfachter Fall: Die Fußpunkte, die Hüftgelenke und die drei Partialschwerpunkte liegen in der gleichen Vertikalebene.

Man kann sich unter den hier angenommenen Bedingungen die Schwere des Oberstückes G_o durch zwei vertikale Kräfte G_r und G_l ersetzt denken, deren Kraftlinien durch die Hüftgelenkmittelpunkte gehen.

Das Gewicht jedes Beines (B_r und B_l) kann man durch zwei vertikale Kräfte ersetzen, von denen die eine b durch den Fußpunkt, die andere b_h durch die Hüftgelenkmitte der betreffenden Seite

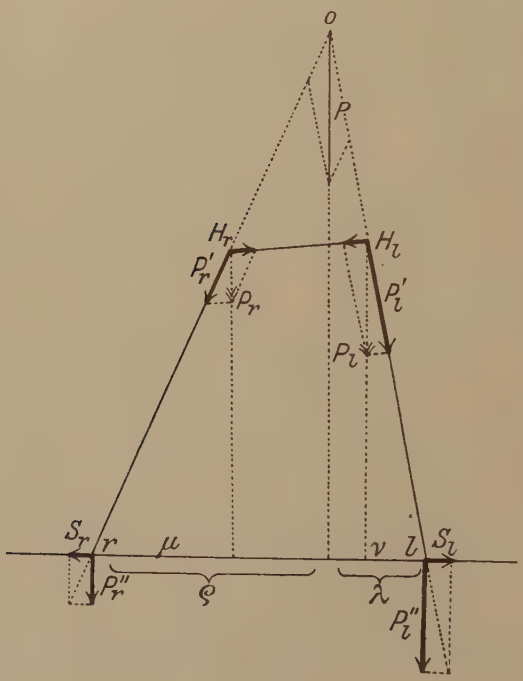


Fig. 63.

geht. Die auf diese Weise nach den Hüftgelenkmitten verlegten Vertikalkomponenten des Körpergewichtes können wir uns je zu einer einfachen Resultierenden (P_r rechts und P_l links) vereinigt denken. Den auf den Fußpunkt entfallenden Teil des Beingewichtes dürfen wir zugleich mit dem Anteil des Fußwiderstandes, der ihm Gleichgewicht hält, in der folgenden Betrachtung außer acht lassen. Der Rest des

Fußwiderstandes sei W_r resp. W_l. An den horizontalen Komponenten ist nichts geändert; nur die vertikalen Komponenten sind auf die Größen W_{lv} und W_{rv} verkleinert; sie müssen zusammen gleich groß und entgegengesetzt gerichtet sein, wie die Resultierende P von P_r und P_l zusammen. (Bei vertikal gestellter Beinlinie kann das ganze Beingewicht auf den Fußpunkt verlegt werden.)

Wenn in den Hüftgelenken keine exaxialen Widerstandskräfte wirken, so kann vom Fußpunkt aus durch das Bein nur derjenigen Komponente der Kraft P_l resp. P_r Gleichgewicht gehalten werden, welche in die Beinlinie entfällt. Soll Gleichgewicht bestehen, so müssen sich die anderen Komponenten durch die „Hüftlinie" HH hindurch Gleichgewicht halten (Fig. 63).

Jede der beiden Kräfte P_r und P_l hat im allgemeinen, bei schräg gestellten Beinlinien, ein drehendes Moment am Bein der betreffenden Seite mit Bezug auf dessen Fußpunkt; dasselbe ist $= P_l \cdot \mu$ für die rechte Seite, wenn μ den Abstand der Kraftlinie P_r von dem Fußpunkt r bedeutet, und $P_l \cdot \nu$ für die linke Seite, wenn ν der Abstand der Kraftlinie P_l vom Fußpunkt l ist. Es handelt sich um einen Einfluß zur Gegeneinanderdrehung der Beine, wenn die Beinlinien aufwärts konvergieren, um Auseinanderdrehung, wenn letztere aufwärts divergieren. Diese drehenden Einflüsse leisten sich durch die Hüftlinie hindurch Widerstand. Sie müssen sich gegenseitig aufheben, wenn das ganze System im Gleichgewicht sein soll.

c) Die Schwere habe keinen Einfluß zur seitlichen Verschiebung des Beckens.

Die Bedingung des Gleichgewichtes ist erfüllt, wenn P_r und P_l eine vertikale Mittelkraft P geben, welche durch den Schnittpunkt 0 der beiden Beinlinien wirkt. P läßt sich nun nach den Richtungen der beiden Beinlinien in die beiden schrägen Komponenten P_r' und P_l' zerlegen. Die horizontalen Komponenten dieser schrägen Kräfte sind einander an Größe gleich, in der Richtung entgegengesetzt, die vertikalen Komponenten P_r'' und P_l'' sind nur dann $= P_r$ resp. P_l, wenn die Hüftlinie horizontal steht, sonst aber etwas davon verschieden.

Es läßt sich nun leicht zeigen, daß P_r und P_l, als vertikale Komponenten von P in H_r und H_l bei Zerlegung nach der Richtung der gleichseitigen Beinlinie und nach der Hüftlinie einmal die Komponenten P_r' und P_l' liefern und zweitens zwei in der Hüftlinie gegeneinander wirkende Komponenten, welche einander an Größe gleich sind und sich gegenseitig Gleichgewicht halten. Es kommen also tatsächlich nur noch die in den Beinlinien nach den Fußpunkten wirkenden Kräfte P_r' und P_l' in Betracht. Ihnen wird durch den Widerstand des Bodens Gleichgewicht gehalten. Das ganze System ist also festgestellt. Die Schrägstellung der Hüftlinie ändert also nichts an der Möglichkeit des Gleichgewichtes.

Die horizontalen Anteile der in den Beinlinien nach den Fußpunkten hin wirkenden Kräfte P_r' und P_l' sind, wie wir gesehen haben, einander gleich und entgegengesetzt. Demnach wirkt an den beiden Füßen neben einem vertikalen Belastungsdruck P_r'' und P_l'' im allgemeinen ein gleich großer Seitenschub nach entgegengesetzten Seiten, und neben den vertikalen Widerständen des Bodens sind horizontale Widerstände notwendig, um diesem Seitenschub Gleichgewicht zu halten und das Ausrutschen der Füße auseinander oder gegeneinander zu verhindern. Da keine anderen äußeren horizontalen Kräfte auf das ganze System einwirken, so ist auch aus allgemeinen Gründen klar, daß die horizontalen Widerstände des Bodens gegen den Seitenschub einander am ganzen System Gleichgewicht halten müssen, während die vertikalen Widerstände, soweit sie nicht den auf den Fuß entfallenden Anteilen der Beingewichte Gleichgewicht halten, zusammen absolute $= P = P_r + P_l = P_r'' + P_l''$ sein müssen.

Alle diese Ableitungen gelten ebensogut für den Fall, in welchem die Beinlinien ihren Konvergenzpunkt oberhalb oder unterhalb der Hüftlinie haben, oder einander parallel laufen. Im letzteren Fall ist der Seitenschub an den Fußpunkten $= 0$ und die vertikale Belastung der Füße von den Hüftgelenken her ist rechts $P_r'' = P_r$, links $P_l'' = P_l$. Letzteres ist überhaupt der Fall bei gleicher Länge und symmetrischer Neigung der Beinlinien, wo dann die Hüftlinie horizontal steht.

Man kann die Betrachtung auch ausdehnen auf den seltenen Fall, in welchem die Vertikale aus o neben der Hüftlinie vorbeigeht, während der Körperschwerpunkt über dem Bereiche von $\overset{\frown}{rl}$ gelegen ist; doch wollen wir diese Konstellation hier nicht weiter verfolgen.

Wenn die im vorigen aufgestellten Bedingungen erfüllt sind, so ist das ganze System gegenüber der Einwirkung der Schwere festgestellt, ohne daß an den Hüftgelenken andere als axiale, durch den Gelenkmittelpunkt gerichtete Kräfte wirken. Bänder und Muskeln könnten überall durchschnitten sein, ohne daß das Gleichgewicht gestört wäre.

Nun kann man sich den horizontalen Widerstand des Bodens gegen den Seitenschub der Füße ersetzt denken durch ein Zugband oder eine Federkraft, welche die beiden Füße horizontal gegeneinander zieht oder auseinander treibt. Irgend ein materieller Punkt a der Zug- oder Druckvorrichtung kann aber ohne Änderung der Wirkung mit dem Oberstück starr verbunden sein, wodurch die Zug- oder Druckvorrichtung in zwei Abschnitte zerlegt wird, einen Teil, der zwischen dem linken Bein und dem Oberstück und einen zweiten Teil, der zwischen dem rechten Bein und dem Oberstück wirkt. Beide stellen nun je eine exaxiale Kraft und Gegenkraft mit Bezug auf das Hüftgelenk ihrer Seite dar. Ist (Fig. 64) S die Größe des Seitenschubes, dem Gleichgewicht gehalten werden muß, h_r der Abstand des rechten Hüftgelenkes, h_l der Abstand des linken Hüftgelenkes vom Boden, so entspricht dem Seitenschub S_r am rechten Bein ein statisches Moment $S_r \cdot h_r$ mit Bezug auf die senkrecht zur Hauptebene des Systems gerichtete Achse des rechten Hüftgelenkes,

dem Seitenschub S_l am linken Bein aber ein Moment $S_l \cdot h_l$ mit Bezug auf eine entsprechende Achse des linken Hüftgelenkes. Die Zug- oder Druckkräfte, die zwischen den Fußpunkten resp. zwischen ihnen und einem in ihrer Verbindungslinie liegenden Punkt des Oberstückes wirken, halten diesen Momenten Gleichgewicht. Beider Gegenwirkung auf den gemeinsamen Angriffspunkt am Oberstück ist resultierend gleich 0.

Man kann nun aber die so disponierten exaxialen Zug- oder Druckkräfte der beiden Hüftgelenke durch irgendwelche andere exaxialen Kräfte und Gegenkräfte an den Gelenken ersetzen, vorausgesetzt, daß diese ebenfalls in der gleichen Hauptebene wirken, und daß ihre Momente

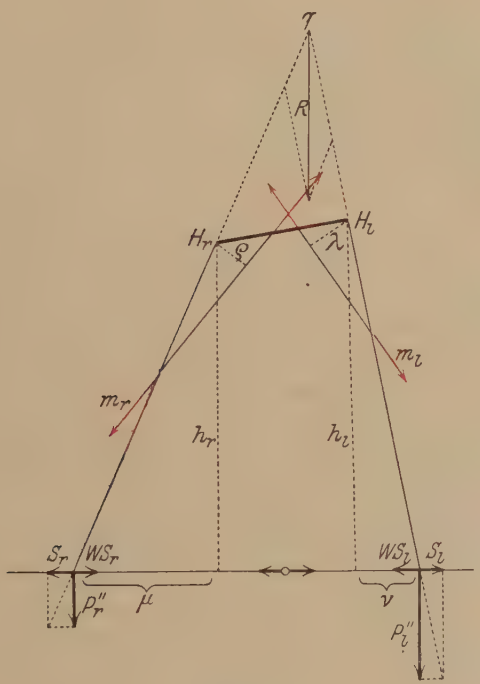


Fig. 64.

mit Bezug auf die genannten Hüftgelenkachsen gleich $S_r \cdot h_r$ resp. $S_l \cdot h_l$ sind. Es kann also dem Seitenschub der schräg stehenden Beinlinien statt durch horizontale Widerstände des Bodens auch durch Verklammerung der Fußpunkte oder auch durch getrennte exaxiale Kräfte an den beiden Hüftgelenken, insbesondere durch Bänder- oder Muskelzug Gleichgewicht gehalten werden.

Statt daß nun der ganze Seitenschub durch exaxiale Kräfte der beiden Hüftgelenke aufgehoben ist, kann dies auch bloß für einen Teil

desselben der Fall sein; nur muß solches auf jeder Seite für einen gleich großen Anteil geschehen; für den Rest des Seitenschubes müssen dann Widerstände des Bodens als Gegenkräfte aufkommen. Andererseits kann man sich beiderseits an den Hüftgelenken so große exaxiale Kräfte wirkend denken, daß durch sie der Seitenschub nicht bloß vermindert oder gerade aufgehoben, sondern ins Gegenteil verkehrt wird, so daß nun z. B. an Stelle eines auswärts gerichteten Seitenschubes trotz abwärts divergierender Beinlinien ein Seitenschub nach innen zustande kommt. Auch bei parallel und vertikal gestellten Beinlinien kann durch die Anspannung der Adductoren ein Seitenschub nach innen hervorgerufen werden.

Einem nach innen gerichteten Seitenschub kann durch die Widerstände des Bodens Gleichgewicht gehalten werden, also gleichsam durch äußere Kräfte, welche, in der Verbindungslinie der Fußpunkte nach beiden Seiten wirkend, die Fußpunkte auseinander zu treiben suchen. Die Widerstände des Bodens kann man sich hinwiederum durch auseinandertreibende Kräfte ersetzt denken, welche zwischen einem starr mit dem Oberstück verbunden gedachten Punkt der Verbindungslinie und den Fußpunkten wirken, also innere Kräfte des Systems (exaxiale Hüftgelenkkräfte) darstellen. Die exaxiale Kraft und Gegenkraft jedes Hüftgelenkes aber, die in der Verbindungslinie der Fußpunkte wirken, können ersetzt werden durch irgend eine andere in der gleichen Vertikalebene, am gleichen Hüftgelenk wirkende exaxiale Kraft und ihre Gegenkraft, vorausgesetzt nur, daß der auf das Bein wirkende Teil mit Bezug auf die zu der genannten Vertikalebene senkrecht stehende Achse des Hüftgelenkes ein gleich großes und gleichsinniges Drehungsmoment besitzt. Soll es ein Muskel sein, welcher das Bein im Hüftgelenk (zur Aufhebung eines einwärts gerichteten Seitenschubes) nach außen drängt, so muß es sich natürlich um einen an der Außenseite des Hüftgelenkes liegenden abduktorischen Muskel handeln.

Durch die Anspannung der Adductoren kann also ein einwärts gerichteter Seitenschub erzeugt, ein auswärts gerichteter Seitenschub aufgehoben werden, durch die Anspannung der Abductoren aber kann ein auswärts gerichteter Seitenschub hervorgerufen, ein einwärts gerichteter Seitenschub beseitigt werden.

Das Gleichgewicht des Systems bleibt immer nur dann erhalten, wenn die Änderung des Seitenschubes auf beiden Seiten um den gleichen Betrag und in symmetrischer Weise stattfindet, so daß die an den beiden Füßen angreifenden äußeren horizontalen Widerstandskräfte nach wie vor in der gleichen Kraftlinie und unter sich mit gleicher Größe, aber in entgegengesetzter Richtung auf das System einwirken.

b) Die Schwere wirke an und für sich zur seitlichen Verschiebung des Beckens.

Bis jetzt wurde angenommen, daß die Resultierende P der Schwere des Oberstückes und der auf die Hüftgelenke entfallenden Anteile der

Beingewichte durch den Schnittpunkt 0 der Beinlinien hindurchgeht. Diese Bedingung braucht nun nicht erfüllt zu sein, auch wenn nach wie vor die Beinlinien und die Schwerpunkte der drei Partialmassen in der gleichen vertikalen Ebene gelegen sind. Es braucht ja nur der Oberkörper parallel dieser Ebene nach links oder rechts gebeugt zu werden, so geht P neben 0 vorbei, zwischen diesem Punkt und einem der beiden Hüftgelenke hindurch. Man kann dann P ersetzen durch eine vertikale Komponente P′ durch 0 und eine zweite vertikale Komponente A, deren Kraftlinie das benachbarte Hüftgelenk trifft (A = akzessorische Belastung dieses Hüftgelenkes).

Für die Kraft P′ in 0 gilt die ganze obige Ableitung. Die neue noch zu berücksichtigende Kraft A aber läßt sich in zwei Komponenten zerlegen, welche vom Mittelpunkt des betreffenden Hüftgelenkes aus in der Hüftlinie gegen das andere Hüftgelenk und in der Beinlinie des benachbarten Beines gegen dessen Fußpunkt hin wirken. Erstere Komponente wirkt allein bewegend im Sinn seitlicher Verschiebung des Systems, sie sei mit V bezeichnet; der in der Beinlinie gegen den Fußpunkt wirkende Druck D hat an sich keine bewegende Einwirkung.

Auf welche Weise kann nun der Kraft V Gleichgewicht erhalten werden?

Es kann dies geschehen 1. durch eine Anspannung der Adduktoren an demjenigen Hüftgelenk, an welchem die akzessorische Belastung A wirkt (Fig. 65).

Fig. 65 gibt zunächst die Zerlegung der rechts an 0 vorbeigehenden Kraft P in die Komponenten P_r in H_r und P_l in H_s.

Sodann die Zerlegung jeder dieser Komponenten in zwei Kräfte, nach dem Fußpunkt des betreffenden Beines und nach dem Hüftgelenk der anderen Seite. Die in die Hüftlinie entfallenden Kräfte V_r und V_l halten sich nicht Gleichgewicht; sie geben eine nach H_l hinwirkende Resultierende V, wie in der kleinen Nebenfigur II dargestellt ist. Das Gleichgewicht kann aber hergestellt werden durch Hinzufügung einer Zugkraft z in der Geraden $\widehat{rH_l}$, welche einerseits auf den Fußpunkt r des rechten Beins, andererseits auf die mit dem Oberstück starr verbunden gedachte linke Hüftgelenkmitte einwirkt. In H_l zerlegt sich die Einwirkung von z nach der Hüftlinie und nach der Beinlinie des linken Beines. z muß so groß genommen werden, daß die in die Hüftlinie entfallende Komponente der Kraft V Gleichgewicht hält. Die auf l wirkende Zugkraft −z kann dort nach der Linie $\widetilde{rl}$ und nach der rechten Beinlinie zerlegt werden; letztere Komponente wirkt der von H_r aus wirkenden Komponente Pr′ entgegen, ohne sie ganz aufzuheben. Der in r wirkende Seitenschub nach außen, welcher wegen der akzessorischen Belastung des rechten Hüftgelenkes vergrößert ist, wird durch die Horizontalkomponente von −z in r wieder um etwas verkleinert. Andererseits ist wegen z in H der in der linken Beinlinie von H_l gegen l wirkende Druck und der in l entgegengesetzt wie in r gerichtete Seitenschub ebenfalls etwas vergrößert. Man errät ohne genauere Rechnung und ersieht aus der Figur, daß durch alle diese neuen, an den Fußpunkten

angreifenden Einflüsse das Gleichgewicht der Seitenschübe wieder hergestellt ist: Die Zugspannung z — z stellt eine exaxial am rechten Hüftgelenk wirkende exaxiale Zugspannung dar. Man kann sie ersetzen durch eine näher am Gelenk gelegene adduktorische Muskel-

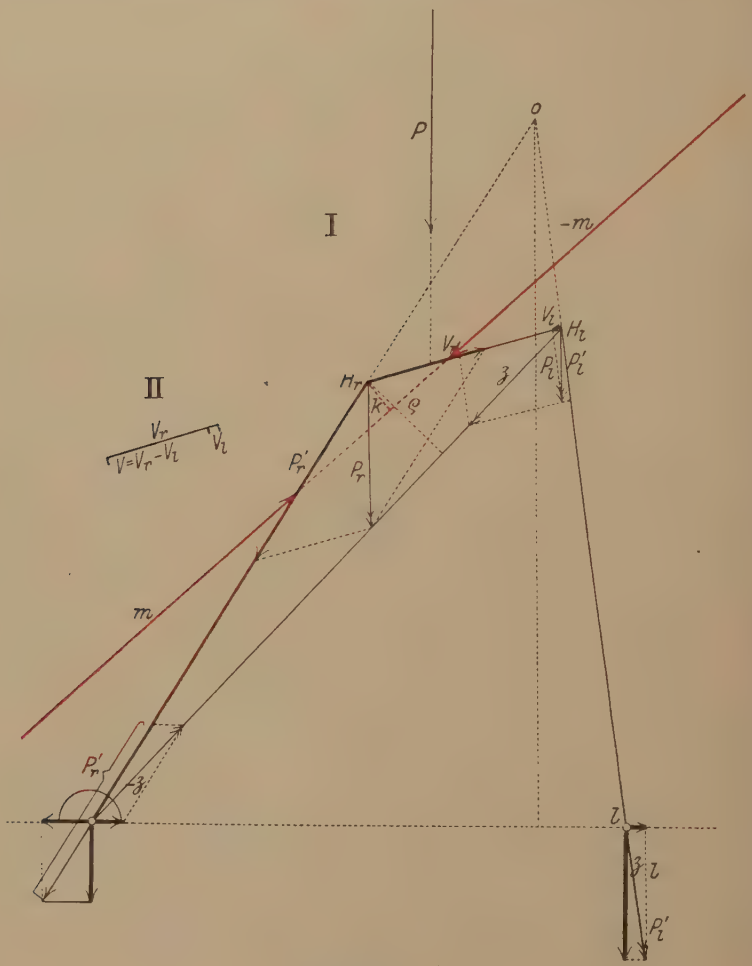


Fig. 65.

spannung, welche mit Bezug auf die zur Hauptebene des Systems senkrecht stehende Gelenkachse dasselbe Kraftmoment besitzt.

Auch über die resultierende vertikale Belastung der Fußpunkte gibt die Fig. 65 Auskunft. Die resultierenden Kräfte, die in r und l gegen den Boden wirken, sind durch die dicken Linien dargestellt.

2. Der Kraft V kann aber auch Gleichgewicht gehalten werden durch Anspannung der Abduktoren am Hüftgelenk der andern Seite, der linken Seite, wenn A durch die Hüftgelenkmitte der rechten Seite geht (s. Fig. 66).

Man denke sich zunächst in der Verbindungslinie $H_r \,.\, l$ eine Kraft und Gegenkraft $\mathfrak{z}$ und $-\mathfrak{z}$ wirkend, welche die Punkte H_r (mit dem Oberstück starr verbunden gedacht) und l auseinander zu treiben sucht. Wir zerlegen die in H_r angreifende Kraft $-\mathfrak{z}$ nach der Hüftlinie und

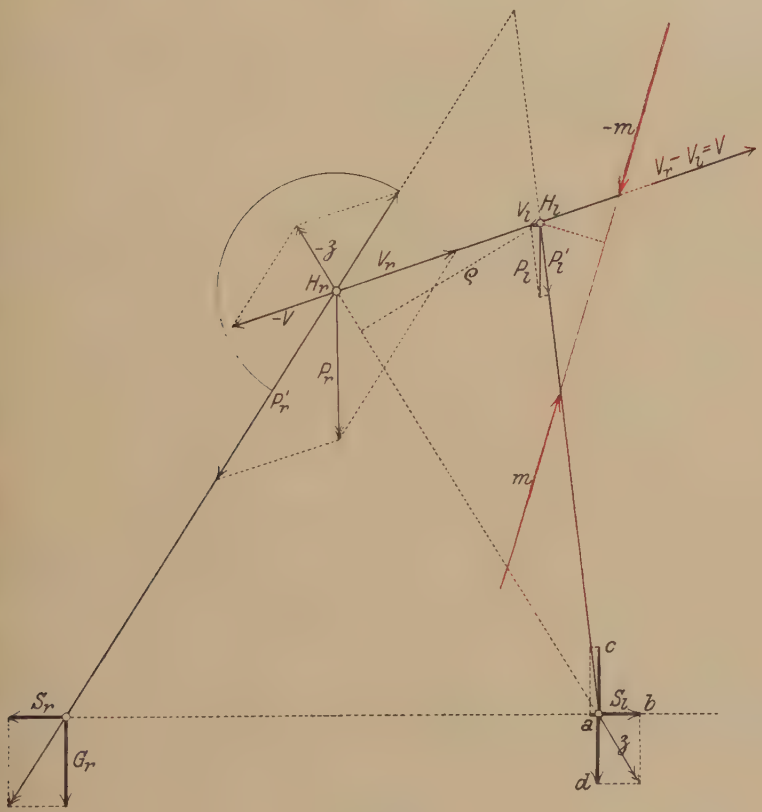


Fig. 66.

der rechten Beinlinie. $\mathfrak{z}$ muß so groß sein, daß die erstere Komponente der Kraft V Gleichgewicht hält; die andere Komponente wirkt der Kraft P_r' entgegen. Die Horizontalkomponente von $\mathfrak{z}$ in l vermehrt den Seitenschub nach außen, so daß er im ganzen den Wert $\overset{\frown}{ab}$ hat, die Vertikalkomponente vermehrt den Druck nach unten, so daß derselbe im ganzen $= \overset{\frown}{cd}$ ist. Man erkennt, daß die Seitenschübe am linken und rechten Fußpunkt nun wieder absolut gleich und der Richtung nach

entgegengesetzt sind. Endlich ersetzt man die innen am linken Hüftgelenk wirkenden auseinandertreibenden axialen Kräfte $\mathfrak{z}$ und $-\mathfrak{z}$ durch eine außen am linken Hüftgelenk wirkende abduktorische Muskelspannung von gleich großem Kraftmoment.

Es ist also anscheinend gleichgültig, ob einer Tendenz zur Verschiebung der Hüftlinie in ihrer Richtung nach dem einen Hüftgelenk hin durch eine abduktorische Spannung an diesem Gelenk oder durch eine adduktorische Spannung am anderen Gelenk entgegengewirkt wird. Auch kann die Feststellung in beiden Gelenken zugleich erfolgen, durch Spannungszunahme an denjenigen Gelenkseiten, welche bei tatsächlicher Verschiebung der Hüftlinie geöffnet würden.

Die Beobachtung scheint zu ergeben, daß die Fixation in der Regel wesentlich durch Anspannung der Muskeln an der Seite des stärker belasteten Hüftgelenkes geschieht.

Die im vorigen durchgeführte Analyse läßt sich auch auf die Bedingungen des Standes und der Bewegungen der Vierfüßler anwenden, insofern man sich sowohl die Extremitäten als den Stamm in sich starr und erstere nur in der Schulter und im Hüftgelenk drehbar mit dem Stamm verbunden denkt. Der Tier-

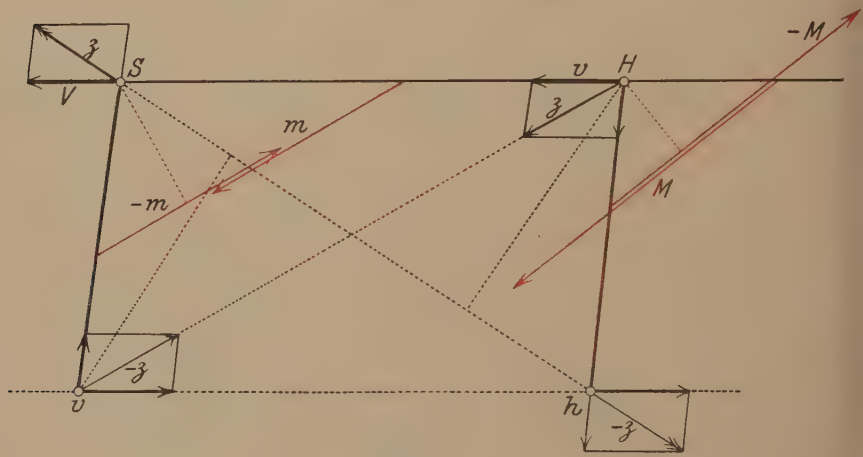


Fig. 67.

körper bildet dann ebenfalls ein dreigliedriges Gestänge. Der Boden bildet die vierte, allein absolut festgestellte Stange. Statt des linken und rechten Hüftgelenkes kommen die Schultern und die Hüftgelenke, statt der Ab- und Adduktoren kommen die vorderen und hinteren Muskeln der Schulter (Schultergelenke) und der Hüftgelenke (vgl. den II. Band dieses Lehrbuches, S. 444 u. ff.) in Betracht. Neben anderen Beweisführungen kann auch eine Ableitung, welche der soeben durchgeführten analog ist, verständlich machen, daß durch Anspannung der hinteren Muskeln einer von vorn her im Stamm rückwärts wirkenden Kraft Gleichgewicht gehalten werden kann, resp. daß eine noch stärkere Anspannung dieser Muskeln den Stamm gegenüber einem von vorn nach hinten wirkenden Widerstand vorwärts treibt.

Fig. 67 erläutert diese Verhältnisse. An dem Gestänge v S H h entspreche die Stange S H dem Stamm, Sv den vorderen, Hh den hinteren Extremitäten. Der Muskelzug m—m zwischen dem Stamm und der vorderen Extremität (beide starr gedacht) kann ersetzt werden durch den Zug z in H und den Gegenzug —z in v. Von diesen beiden Kräften wirkt zur Bewegung nur die in der Richtung des Stammes gelegene Komponente v der Kraft z in H. Den Muskelzug M und —M zwischen Stamm und hinterer Extremität kann man ersetzen durch ζ in S und $-\zeta$ in h. Von diesen beiden Kräften wirkt bewegend nur die in der Richtung des Stammes gelegene Komponente von ζ in S. Beide bewegenden Komponenten sind nach vorn gerichtet. (In der Fig. 67 sind statt ζ in S und $-\zeta$ in h die Buchstaben ζ und $-\zeta$ zu setzen).

2. Verallgemeinerte Behandlung der Aufgabe.

Indem wir die bis jetzt gemachte Voraussetzung, daß alle Kräfte in der Vertikalebene durch die Hüftlinie wirken, fallen lassen — sie treffen nur selten zu — gelangen wir zu einer allgemeineren Behandlung der Aufgabe, für folgende Bedingungen:

Der Gesamtschwerpunkt des Körpers kann vor oder hinter der Vertikalebene durch die Hüftlinie liegen; die Ebene, welche durch den Gesamtschwerpunkt und die drei Partialschwerpunkte gelegt ist, kann zur Hüftlinie parallel oder auch schräg stehen, sie braucht auch nicht notwendigerweise mit der Ebene zusammenzufallen, welche durch den Körperschwerpunkt und durch die beiden Fußunterstützungsflächen (Angriffsstellen der äußeren Widerstände) geht.

Wir können uns hier nun mit Vorteil des im II. Bande d. L. auf S. 392 u. ff. erläuterten Projektionsverfahrens bedienen und haben danach zu untersuchen:

a) Die Verhältnisse der Projektionen aller Kräfte in der Vertikalebene, welche durch die Hüftlinie geht,

b) die Verhältnisse der Projektionen aller Kräfte in der Vertikalebene, welche zu der vorigen Ebene senkrecht steht,

c) die Verhältnisse der Projektionen aller Kräfte in der Horizontalebene.

Welche Stellung zum Horizont das Becken einnimmt, ist dabei gleichgültig. Im Fall der Feststellung des Systems müssen sich in jeder dieser Projektionsebenen die Projektionen der am gleichen Partialstück angreifenden Kräfte Gleichgewicht halten.

a) Projektion auf die Vertikalebene durch die Hüftlinie.

Sie enthält alle ihr parallel laufenden Kraftkomponenten und Drehungseinflüsse, während alle Einzelkräfte und Drehkräfte, welche senkrecht zu dieser Ebene wirken, in der Projektion nicht vertreten sind.

Die Verhältnisse der in der Projektion vertretenen Kräfte sind nun genau entsprechend dem Verhältnis der Kräfte in dem zuvor (Seite 140 bis 148) behandelten Spezialfall; die dort ausgeführte Analyse der Gleichgewichtsbedingungen gilt auch für die in Rede stehende Projektion.

b) Projektion auf eine Vertikalebene, welche zur Vertikalebene durch die Hüftlinie senkrecht steht (Fig. 68 I und II).

Die Hüftlinie erscheint in dieser Projektion als ein Punkt, oder, wenn sie nach einer Seite absinkt, als eine vertikale Linie. Der Kürze halber nennen wir im folgenden nur die Punkte, Linien und Kräfte selbst, wo es sich um ihre Projektionen handelt. Die Kraftlinie des Gesamtschwerpunktes verläuft vertikal im Abstand a vor oder hinter der Hüftlinie resp. dem gemeinsamen Hüftpunkt. Die beiden Fußpunkte können zusammenfallen, wenn die Füße, nach dem Becken beurteilt, nebeneinander dem Boden aufgesetzt sind und müssen dann in der Schwerlinie gelegen sein; oder der eine Fußpunkt steht vor, der andere hinter

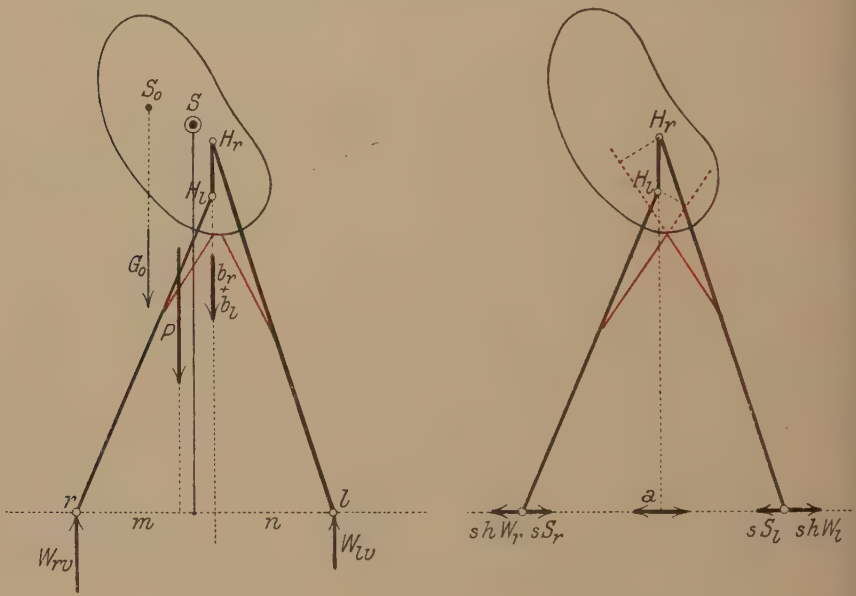


Fig. 68.

der Schwerlinie (allgemeiner Fall). Der Abstand des rechten Fußes von der Schwerlinie sei ρ, der des linken λ. Die auf die Fußpunkte und die auf die Hüftgelenkmitten entfallenden Anteile des Beingewichtes können auch hier getrennt behandelt werden.

Wir bekommen dann am Oberstück im Hüftpunkt resp. in der Hüftlinie angreifend die Anteile b_r und b_l der Beingewichte; außerdem wirkt am Oberstück die Schwere des Oberstückes G_o. Diese drei Kräfte zusammen lassen sich ersetzen durch eine Kraft P, welche zwischen der Hüftlinie und dem Schwerpunkt des Oberstückes wirkt (Fig. 68 I).

W_{rv} und W_{lv}, die vertikalen Komponenten der Fußwiderstände gegen P, kommen in der Projektion voll zur Geltung. Zwischen diesen

drei Kräften muß am festgestellten System (seiner Projektion) Gleichgewicht bestehen.

Aus der Konfiguration ergibt sich, welcher Teil des Gewichtes jedes Beines auf seinen Fußpunkt und welcher auf die Hüftgelenkmitte entfällt. Demnach läßt sich auch bestimmen, wieviel von W_{rv} und von W_{lv} zur Wirkung auf das Oberstück übrig bleibt. Wir wollen diese durch die Fußpunkte aufwärtsgerichteten Anteile mit W_{rvo} und W_{lvo} bezeichnen. Sie müssen der Kraft P Gleichgewicht halten. Ferner muß in jedem Hüftgelenk die Drehung des Beines gegenüber dem Oberstück parallel der Projektionsebene verhindert sein. Man sieht leicht ein, daß am linken Hüftgelenk Gelenkkräfte vom Kraftmoment $W_{lvo} \cdot m$, am rechten Hüftgelenk solche vom Kraftmoment $W_{rvo} \cdot n$ notwendig sind zur Feststellung (wobei m und n die Abstände der Hüftgelenke von der Vertikalen durch den linken und rechten Fußpunkt bedeuten. Natürlich beziehen sich diese Kraftmomente auf Hüftgelenkachsen, welche zur Projektionsebene senkrecht stehen (horizontal von einer Seite des Beckens zur anderen gehen). Es handelt sich wesentlich um Einwirkungen zur Circumpolarflexion und -extension. Je mehr die Hüftlinie zur Seite geneigt ist, desto mehr muß auch ein ab- resp. adduktorisches Kraftmoment beigefügt sein. Sagittale Seitenschübe an den Fußpunkten sind, falls in dieser Weise die Hüftgelenke festgestellt sind, nicht vorhanden.

Sagittale Seitenschübe und sagittale horizontale Fußwiderstände können aber, wenn die vorher betrachteten vertikalen äußeren Kräfte unter sich im Gleichgewicht sind, beispielsweise dadurch hervorgerufen sein, daß neue innere Kräfte hinzukommen, welche die Fußpunkte direkt auseinander oder gegeneinander treiben. Man kann sich dann irgend einen Punkt a der betreffenden Kraftlinie rl (Fig. 68 II) mit dem Oberstück starr verbunden und an ihm eine gleiche Kraft und Gegenkraft hinzugefügt denken. Man bekommt so für jedes Hüftgelenk in derselben Geraden eine entsprechend große exaxiale Kraft und ihre Gegenkraft, und es lassen sich wieder diese zwei Kräfte je durch eine andere Kraft und Gegenkraft des gleichen Gelenkes ersetzt denken, wobei deren sagittale Komponenten das gleiche Kraftmoment und den gleichen Sinn der Drehungseinwirkung mit Bezug auf die zur Sagittalebene senkrecht stehende Achse des betreffenden Hüftgelenkes haben müssen, wie die durch sie ersetzten Kräfte in rl. Gegeneinander gerichtete Seitenschübe können offenbar hervorgerufen sein durch neue exaxiale Hüftgelenkkräfte, welche die beiden Beine gegeneinander ziehen (das vordere Bein extendieren, das hintere flektieren); umgekehrt gerichtete Seitenschübe aber durch neue Hüftgelenkkräfte a, welche die beiden Beine auseinandertreiben (das vordere flektieren, das hintere extendieren). Diese neuen Hüftgelenkkräfte sind in den oben schon berücksichtigten Hüftgelenkkräften nicht mit inbegriffen.

c) Projektion auf die Horizontalebene (Figg. 68—71).

Alle vertikalen Kräfte erscheinen in dieser Projektion als Punkte. Die vertikale Kraft P ($= b_r + b_l + G_o$) trifft die Verbindungslinie der Fußpunkte. Letztere muß zwischen der Hüftlinie, in welcher die Kräfte P_r und P_l angreifen, und dem Projektionspunkt der Schwerlinie des Oberkörpers (G_o) gelegen sein.

Keine dieser Kräfte hat eine Horizontalkomponente. Dagegen kommen alle horizontalen Kräfte, so auch die an den Fußpunkten wirkenden Seitenschübe und die Widerstände voll und ganz zur Geltung, ebenso wie die horizontalen Komponenten der Muskelspannungen am Hüftgelenk, welche zur Feststellung der Hüftgelenke entgegen den vertikalen Kräften (s. o.) dienen. In den Figg. 69 einerseits und 70 und 71 andererseits sind Fälle dargestellt, in denen solche Komponenten vorhanden sind. In Fig. 69 handelt es sich um einen Fall, in welchem beide Fußpunkte auf der gleichen Seite der Hüftlinie liegen. In der Verbindungslinie der Fußpunkte kann in diesem Fall wohl ein Seitenschub vorhanden sein, nicht aber in dazu senkrechter Richtung. Dem Einfluß der an jeder Beinlinie angreifenden vertikalen Kräfte zur Drehung im Hüftgelenk, parallel der vertikalen, durch die Beinlinie gelegten Ebene muß also durch die Muskeln des Hüftgelenkes Gleichgewicht gehalten sein. Diese Muskeln müssen aber in der Projektion außerhalb von H_r resp. H_l liegen und horizontale Drehungskomponenten haben. Nehmen wir an, daß sie zur Annäherung der Fußpunkte aneinander wirken, so muß an letzteren ein Seitenschub nach dem jeweiligen anderen Fußpunkt hin vorhanden sein. Man könnte sich den Muskelzug jeder Seite ersetzt denken durch einen Zug in der Verbindungslinie der Fußpunkte, zwischen jedem Fußpunkt und einem Punkt a der Verbindungslinie, der mit dem Oberstück starr verbunden wäre. Die beiden an den Fußpunkten angreifenden Kräfte entsprechen dem Seitenschube. Die Kräfte im Punkte a annullieren sich.

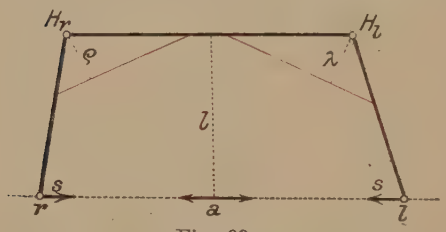


Fig. 69.

Der zweite mögliche Fall ist der, daß die beiden Fußpunkte in der Projektion an verschiedenen Seiten der Hüftlinie gelegen sind (Fig. 70 und 71). Die Kraftlinie von P, welche der Mittelkraft zu der Schwere G_o des Oberstückes und den auf die Hüftgelenkmitten entfallenden Anteil der Beingewichte (b_r und b_l) entspricht, trifft die Verbindungslinie der Fußpunkte vor oder hinter oder in der Hüftlinie. Wenn sie vor oder hinter der Hüftlinie vorbeigeht, muß an jedem Hüftgelenk zu seiner Feststellung ein Muskelzug, an der einen Seite vorn am Gelenk zur Beugung, an der anderen Seite hinten am Gelenk zur Streckung, einwirken, parallel der Vertikalebene, welche zur Vertikalebene durch die Hüftlinie senkrecht steht.

Die Projektion auf diese Vertikalebene, welche die Hüftlinie möglichst senkrecht schneidet (Fig. 68) zeigt dies deutlich. Der in Rede stehende Muskelzug kann jederseits Feststellung des Hüftgelenkes in der Vertikalprojektion bewirken, ohne daß ein horizontaler Seitenschub an den Fußpunkten zustande kommt (Fig. 68 I). In anderen Fällen kann ein Seitenschub in der Verbindungslinie der beiden Fußpunkte vorhanden sein (Fig. 68 II), und wenn der Muskelzug nicht in der Vertikalebene durch die Beinlinie gelegt ist, hat er jedenfalls einen Einfluß zur Drehung des Beines gegenüber dem Oberstück um die vertikale Achse des betreffenden Hüftgelenkes. Diese Einflüsse kommen in der Projektion auf die Horizontalebene voll zur Geltung. Man kann sich nun die Muskelzüge (ihre Horizontalkomponenten) jederseits durch

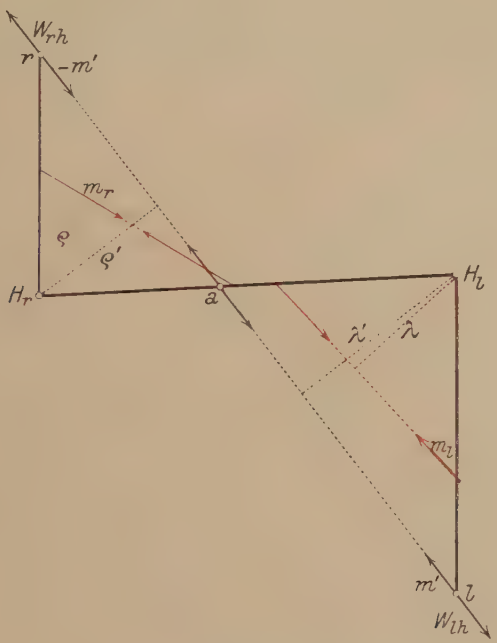


Fig. 70.

eine Kraft und Gegenkraft ersetzt denken, welche in der Verbindungslinie der Fußpunkte zwischen dem Fußpunkt der betreffenden Seite und einem mit dem Oberstück starr verbunden gedachten Punkt a der Verbindungslinie wirkt. Die im Punkte a angreifenden Kräfte m′ und —m′ müssen sich gegenseitig aufheben, die in r und l angreifenden Kräfte einander ebenfalls gleich und entgegengesetzt gerichtet sein, wenn das System festgestellt sein soll. Letztere Kräfte entsprechen ja den in den Fußpunkten zur Geltung kommenden Seitenschüben, denen durch die horizontalen Widerstände des Bodens Gleichgewicht gehalten wird.

Das Drehungsmoment $m' \cdot \varrho'$ muß $= m_r \cdot \varrho$, das Drehungsmoment $m' \cdot \lambda' = m_\varrho \cdot \lambda$ sein. Dies sind die Bedingungen für das gegenseitige Verhältnis der an den Hüftgelenken wirkenden horizontalen Drehungskomponenten M_r und M_l, unter denen das ganze System festgestellt ist. Die Fig. 70 entspricht dem Fall, in welchem der resultierende Muskelzug am Hüftgelenk in der Projektion innen zwischen Hüftlinie und Beinlinie ausgespannt ist. Der Seitenschub wird hier durch Gegeneinanderdrängen der Füße hervorgerufen. Es ist klar, daß der in der

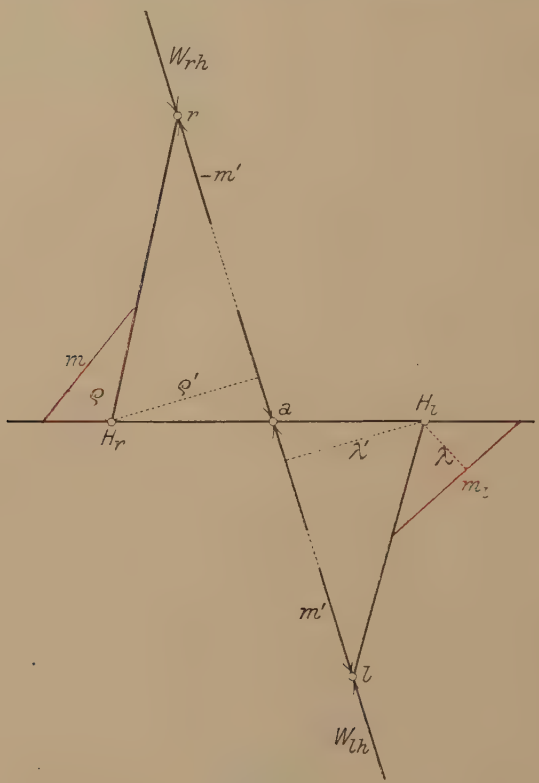


Fig. 71.

Verbindungslinie der Fußpunkte vorhandene Seitenschub auch in der Projektion auf die Vertikalebene, welche die Hüftlinie möglichst senkrecht schneidet, teilweise zur Darstellung kommen muß (Fig. 68 II).

In Fig. 71 liegt der Muskelzug außen zwischen Hüftlinie und Beinlinie. Hier entsteht der Seitenschub durch Auseinanderdrängen der Füße.

Das hier berücksichtigte Prinzip, daß sich die Widerstände gegen die Seitenschübe an den Füßen als äußere Kräfte am festgestellten

Körper Gleichgewicht halten müssen, wenn keine anderen äußeren Kräfte als die Widerstände des Bodens und die Schwere einwirken, gilt ganz allgemein. Es folgt daraus auch, daß die Seitenschübe beider Füße zusammen keine drehende Wirkung auf den Körper repräsentieren können. Wohl aber können am einzelnen Fuß vorn und hinten entgegengesetzt gerichtete horizontale Widerstandskomponenten in Frage kommen, die zusammen ein Kräftepaar repräsentieren. Notwendigerweise muß dann am anderen Fuß ein gleich großes und entgegengesetzt gerichtetes horizontales Kräftepaar des Widerstandes vorhanden sein. Solche Widerstände werden unter Umständen hervorgerufen durch ein- oder auswärtsdrehende Kräfte an beiden Hüftgelenken.

Man kann sich beim Stand auf beiden Füßen solche entgegengesetzte, gleich große, horizontale Kräftepaare an den Füßen und die bewirkenden Kräfte zwischen den Oberschenkeln und dem Stamm hinzugefügt oder weggenommen denken. Die übrigen Bedingungen zur Feststellung des Systems werden dadurch nicht geändert.

II. Fuß und Unterschenkel.

A. Anatomische Orientierung über das Unterschenkel- und Fußskelett.

Das Skelett des Beines ist vom Knie an flächenhaft verbreitert. Im Unterschenkel finden sich annähernd parallel nebeneinander zwei lange Knochen, die dickere Tibia (Schienbein) und die schmalere Fibula (Wadenbein), welche oben und unten gelenkig miteinander verbunden sind. So entsteht ein knöcherner Rahmen, in welchen die Membrana interossea eingespannt ist. Das Skelett des Fußes besteht aus einer einfachen Lage von Skelettstücken, welche in der proximalen Hälfte des Fußes zu einer geschlossenen Platte zusammengefügt sind (Tarsus, Fußwurzel), während sie in der distalen Fußhälfte fünf gegliederte, an den Tarsus angeschlossene Skelettstrahlen bilden. Diese Strahlen stecken bis über ihre Mitte hinaus (mit ihren basalen Gliedern, den Metatarsalia) noch in der gemeinsamen Weichteilbedeckung des Fußes, während ihre distalen kleineren, aus mehreren Phalangen bestehenden Hälften besondere Weichteilumhüllungen besitzen, mit denen zusammen sie die Zehen bilden.

α) Das Skelett des Unterschenkels.

Der anatomischen Beschreibung der Unterschenkelknochen liegt die Stellung zugrunde, welche sie beim aufrechten Stande einnehmen, wenn die Femurkondylen gleichweit rückwärts ragen und die Verbindungslinien der Epikondylen beiderseits in der Fortsetzung zusammenfallen.

1. Die Tibia.

Der mittlere Teil der Tibia ist dreiseitig prismatisch. Zwei der Längsseiten, eine äußere und eine hintere, stoßen in rechtwinkliger Kante zusammen. Die dritte Seite steht schräg nach vorn und innen gewendet. Sie bildet mit der äußeren Seite vorn die schärfere Kante (Crista tibiae).

Nach oben verdickt sich die Tibia zunächst ganz allmählich, um dann rasch nach beiden Seiten und zuletzt auch nach hinten auszuladen. Indem vorn aus der Crista tibiae ein nach oben sich verbreiterndes, nach hinten zurückweichendes dreieckiges Feld hervorgeht, wird das obere Ende mehr vierseitig, mit abgerundeten Ecken und erscheint wie nach

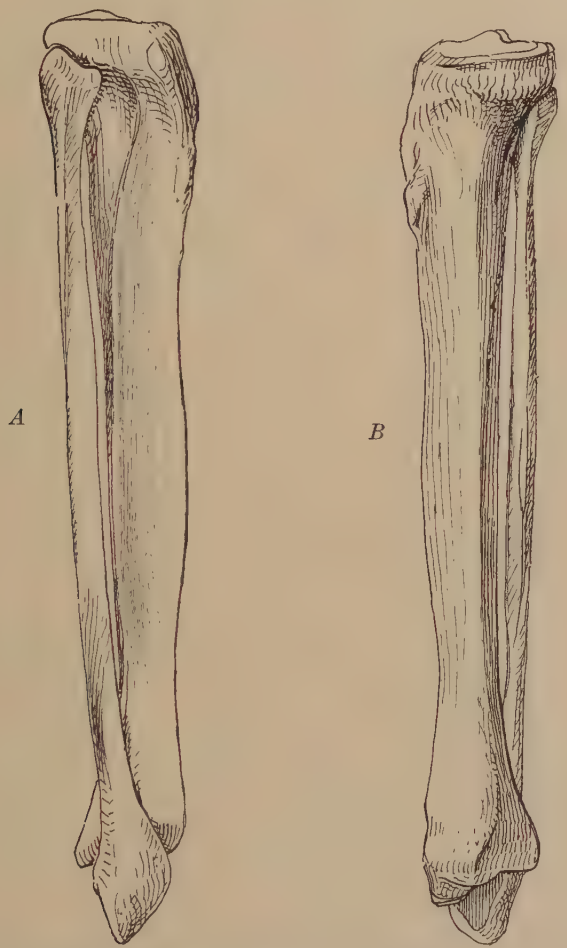


Fig. 72. Tibia und Fibula der r. Seite. *A* von außen, *B* von innen gesehen.

hinten abgeknickt. Es ist undeutlich in zwei Kondylen gesondert, indem die quere Endfläche hinter einer mittleren Erhabenheit (Eminentia intercondyloidea) zur Grube und zu einer Inzisur des hinteren Randes einsinkt (Planum intercondyloideum post. und Incisura intercondyloidea). Zwischen die Endfläche und die benachbarten hinten

und seitlich schräg ausladenden Seitenflächen schiebt sich eine schmale vertikale Randfläche (Circumferentia articularis) ein. Die seitlich von der Regio intercondyloidea gelegenen Felder der queren Endfläche (Kondylenfelder) sind leicht ausgehöhlt; sie sind überknorpelt und tragen als verschieblichen, jederseits vom Rand der Gelenkpolsterung

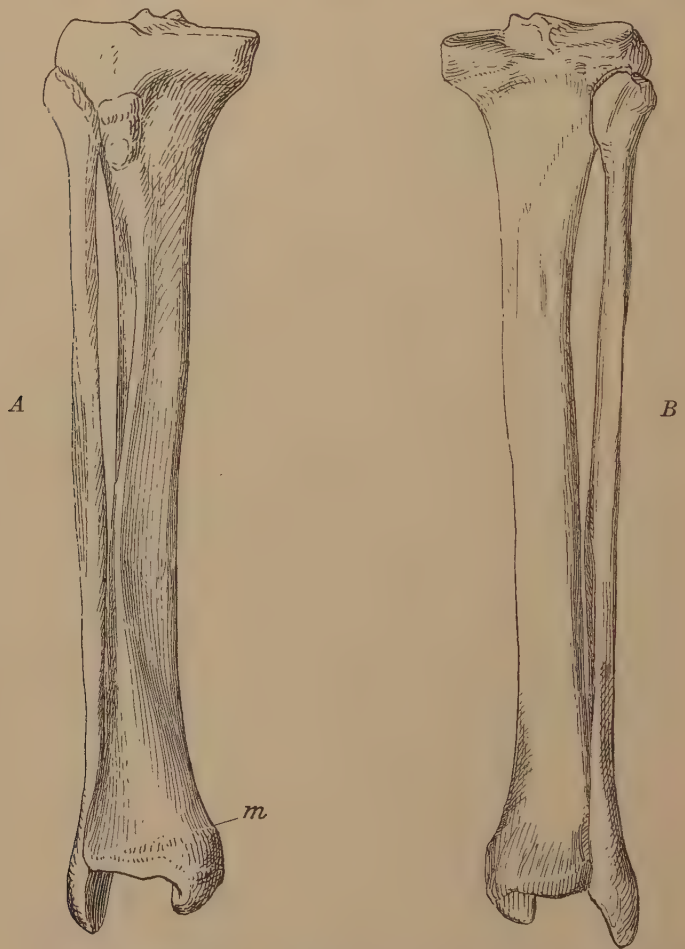


Fig. 73. Tibia und Fibula der r. Seite. *A* von vorn, *B* von hinten gesehen.

bis nahe an die Eminentia intercondyloidea abgespaltenen Belag je einen sichelförmigen, faserigen Meniscus. Die Enden derselben sind mit der Tibia verwachsen. Soweit die Felder von den Menisci nicht bedeckt oder unter ihnen frei sind, sind sie überknorpelt. Der Knorpelüberzug erstreckt sich auch noch an die Seite der Eminentia intercondyloidea und auf die Circumferentia articularis.

Das untere Ende des vorderen Dreieckfeldes ist zur Tuberositas tibiae aufgewulstet. Gegen das untere Ende hin nimmt die Tibia vom Mittelstück aus nur wenig an Dicke zu. Sie nimmt zum Schluß eine mehr vierseitige Gestalt an, indem aus der hinteren äußeren Kante eine dreiseitige, fast direkt nach außen und nur wenig rückwärts gewendete Fläche hervorgeht, an welche sich das untere Ende der Fibula mit longitudinaler Gelenkfläche anlegt. Die Fortsetzung der äußeren Fläche des Mittelstückes wird zur vorderen, nur wenig nach außen gewendeten, der Quere nach gerundeten Fläche. Die hintere Fläche dreht sich in ihrer Fortsetzung ein wenig nach innen. Die schräge vordere innere Seite des Mittelstückes setzt sich in die innere, nur wenig nach vorn gewendete Fläche des von der Tibia gebildeten inneren Knöchels fort. Letzterer ragt über die quere Endfläche der Tibia ein Stück weit vor.

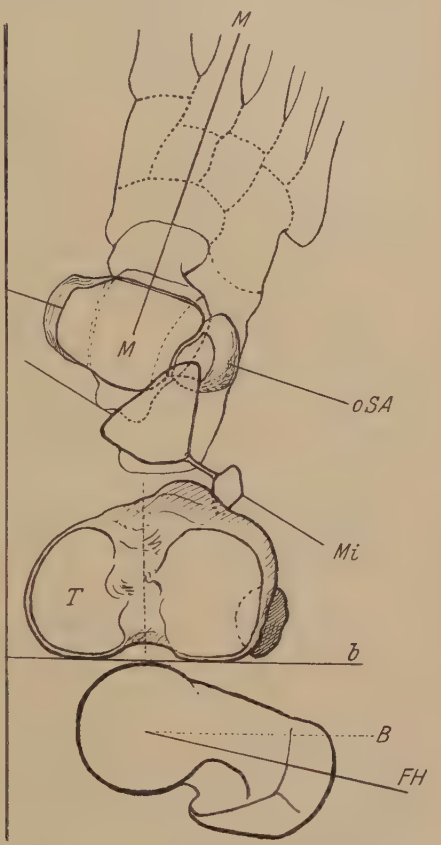


Fig. 74. Orientierung des Beinskelettes zur Medianebene beim aufrechten geraden Stand. *M M.* Hauptebene des oberen Sprunggelenkes, *oSA* Achse des oberen Sprunggelenkes, *Mi* Ebene der Membrana interossea in der Mitte des Unterschenkels, *b* hintere Berührungsebene des oberen Endes der Tibia, *B* Bestimmungsebene des Femur (Epikondylenlinie), *FH* Hauptebene des Femur (Schenkelhalsachse); alles in der Projektion auf die Horizontalebene.

2. Die Fibula (Wadenbein).

In noch stärkerem Maße ragt über die quere Endfläche der Tibia der äußere Knöchel vor, welcher von der Fibula gebildet wird. Derselbe liegt nach außen und etwas nach hinten vom medialen Knöchel, ist schlanker als dieser und überragt ihn nach unten. Er hat einen hinteren mehr longitudinalen und einen vorderen, rückwärts absteigenden Rand, so daß er nach unten zugespitzt ist, während sich der mediale Knöchel unten quer abgestutzt zeigt.

Das obere Ende der Fibula ist zum Köpfchen verdickt und der Ausladung des oberen Endes der Tibia an der hinteren äußeren Ecke

von unten her mit schräger Gelenkfläche angelegt (Köpfchen der Fibula). Zwischen den beiden verdickten Enden verläuft die Fibula als schlanker, gekanteter Knochenstab ziemlich geradlinig. Derselbe steht hinter dem oberen Ende des Mittelstückes der Tibia ziemlich weit nach außen zurück, während er nach unten zu mehr und mehr neben die Tibia tritt.

3. Die Membrana interossea.

Das Spatium interosseum zwischen Tibia und Fibula ist vom oberen bis zum unteren Tibia-Fibulargelenk durch die Membrana interossea überbrückt, welche sich an der hinteren äußeren Kante der Tibia und an einer gegenüberligenden Kante der Fibula festheftet. Ihre Richtung ist oben mehr sagittal, unten mehr frontal.

Infolge des Überragens der Malleolen über die quere Endfläche der Tibia bildet das untere Ende des Unterschenkelskelettes eine Gabel oder Klammer, welche den proximalen Rand der Skelettplatte des Fußes (Talusrolle) zwischen sich faßt. Die Mittelebene des Schlitzes der Gabel steht bei aufrechtem Stand und anatomischer Ausgangsstellung der Tibia vertikal und so, daß sie in einem Flächenwinkel von 15^0 aus der Medianebene des Körpers nach vorn außen abweicht. Sie trifft bei normaler Fußwölbung und horizontaler Fußunterlage in ihrer Fortsetzung die zweite Zehe.

β) Das Fußskelett.

1. Übersicht über die Skelettstücke.

Das Fußskelett zerfällt in einen Fußwurzelteil (Tarsus) und in einen Strahlenteil. Die Strahlen werden vom inneren Fußrand aus numeriert. Hinter den drei ersten Strahlen liegt im Tarsus zunächst je ein Keilbein (Os cuneiforme I, II, III); in der ganzen Breite hinter den drei Keilbeinen befindet sich das Kahnbein (Os naviculare), hinter diesem das Sprungbein (Talus, Astragalus). Hinter den zwei äußeren Strahlen folgt im Tarsus zunächst das Würfelbein (Os cuboides), dann das Fersenbein (Calcaneus). Es läßt sich demnach das ganze Fußskelett in zwei Längshälften zerlegen (Fig. 75).

Dabei liegt das Würfelbein neben den Keilbeinen und dem Naviculare, der Calcaneus befindet sich neben dem Talus, überragt ihn aber nach hinten. Es muß also eine quer durchgehende Trennungszone zwischen den basalen Strahlengliedern (Metatarsalia) und dem Tarsus vorhanden sein und eine zweite Trennungsfläche zwischen dem Naviculare und Kuboid einerseits, dem Talus und Calcaneus andererseits. Erstere ist die Lisfrancsche, letztere die Chopartsche Trennungs- oder Amputationsfläche. Den zwischen beiden gelegenen Abschnitt können wir als Vordertarsus, das Sprungbein mit dem Fersenbein können wir als Hintertarsus bezeichnen.

Die fünf Strahlen zerfallen je in ein proximales Stück, das Metatarsale (Metatarsusknochen), das ungefähr die halbe Länge der Strahlen bildet und in zwei oder drei Phalangen, die vom Metatarsale aus numeriert werden. Der erste oder große Zehenstrahl hat nur zwei Phalangen, den übrigen kommen je drei Phalangen zu; doch findet man häufig am fünften Strahl eine Reduktion der Phalangenzahl auf zwei.

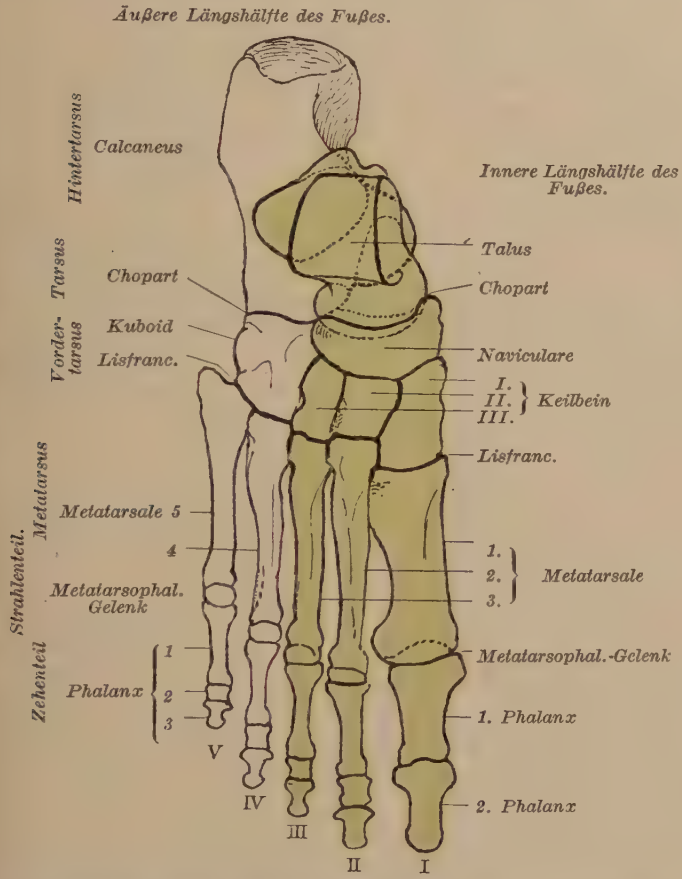


Fig. 75. Übersicht über die Gliederung des Fußskelettes. Innere Längshälfte grün.

Hierüber und über andere Variation s. Pfitzner 1895.) Alle fünf Metatarsalia zusammen bilden den Metatarsus.

Die Lisfrancsche Amputationsfläche und ihre dorsale Randlinie verlaufen eigentümlich zackig, indem die Endfläche des zweiten Keilbeines hinter derjenigen des dritten und namentlich des ersten Keilbeines zurücksteht. Die Endfläche des Kuboides steht gegenüber derjenigen des dritten Keilbeines ebenfalls zurück und weicht nach außen

hin deutlich schräg proximalwärts zurück. Man bemerkt an ihr zwei, durch eine mittlere First geschiedene Facetten für das vierte und fünfte Metatarsale. Die sich entsprechenden Berührungsstellen zwischen den Metatarsalia und den ersten Zehenphalangen und ebenso die Ver-

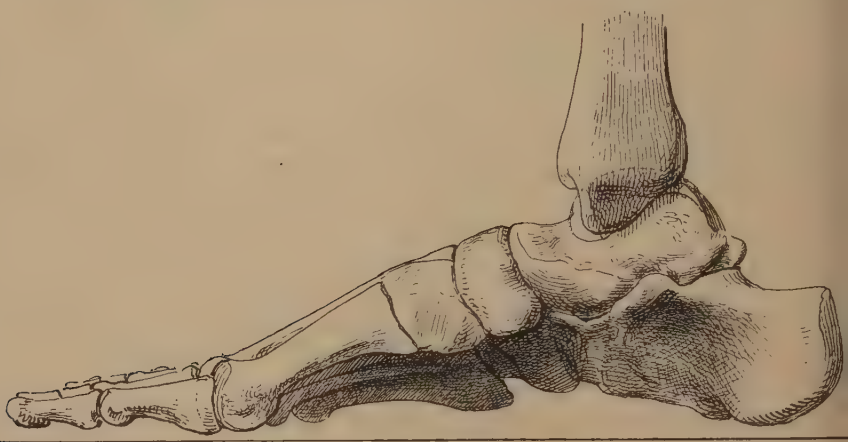


Fig. 76. Rechter Fuß von innen.

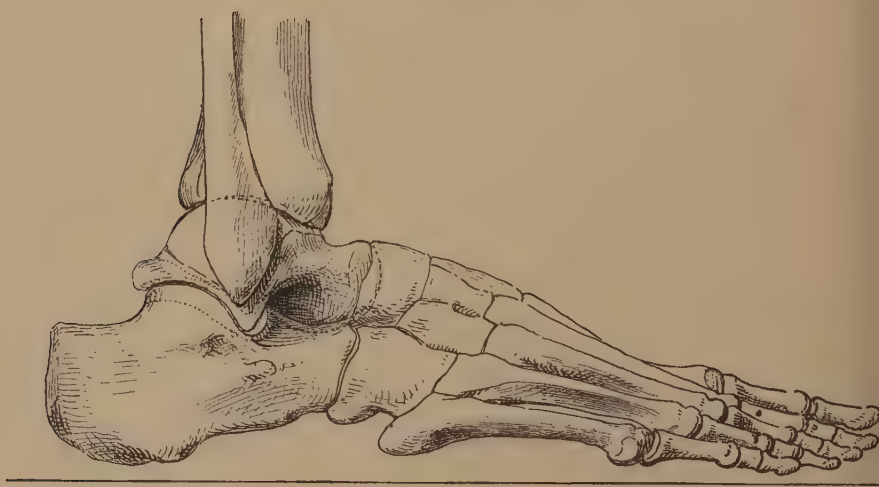


Fig. 77. Rechter Fuß von außen.

bindungsstellen zwischen der ersten und zweiten, sowie zwischen de zweiten und dritten Phalanx liegen in Bogenlinien, welche vom zweite Strahl aus nach außen mehr und mehr proximalwärts zurückweichen Das Ende der großen Zehe überragt bekanntlich häufig um etwas das

jenige der zweiten, obschon in den klassischen Bildwerken des Altertums die zweite Zehe meist ein weniges über die erste vorspringt. Die Trennungsstelle zwischen den beiden Phalangen der großen Zehe befindet sich neben der zweiten Phalanx der zweiten Zehe.

Wir unterscheiden an der Skelettplatte des Fußes die plantare und die dorsale Breitseite, den von den fünf Strahlenspitzen markierten distalen Rand, einen inneren Längsrand, der vom oberen Rand des Fersenhöckers über die Innenseite des Talus nach vorn zur ersten Zehe, und einen äußeren Längsrand, der von der unteren Peripherie des Fersenhöckers nach vorn zur fünften Zehe verläuft, und ein hinteres, der hinteren Endfläche des Fersenbeins entsprechendes Ende.

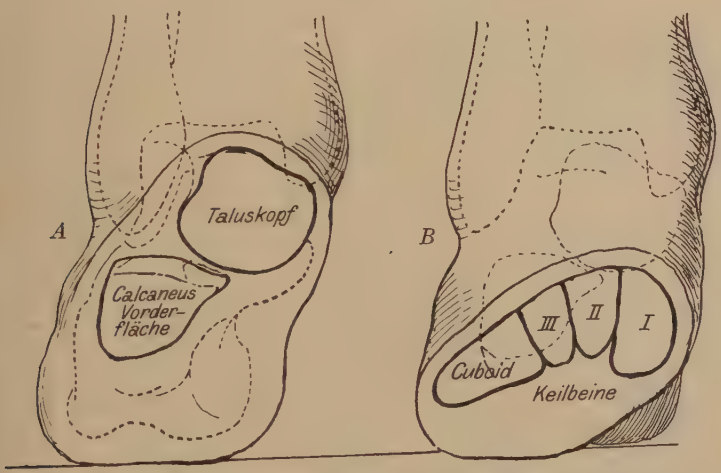


Fig. 78. *A.* Hinterstück nach Amputation im Chopart, *B.* Hinterstück nach Amputation im Lisfranc. Amputationsstümpfe von vorn gesehen.

Vom vergleichend entwicklungsgeschichtlichen Standpunkt ausgehend können wir den inneren Rand vor der Talusrolle als tibialen Rand bezeichnen. Der fibulare Rand erstreckt sich von der Talusrolle über die hintere Talusecke zum Fersenhöcker und setzt sich durch die hintere Endfläche des Fersenbeins in den äußeren Fußrand fort. Die Talusrolle bildet den proximalen Rand des Fußes.

Von besonderer Wichtigkeit ist nun, daß man beachtet, wie die Fußplatte nach hinten zu an Dicke gewinnt und wie zugleich mehr und mehr der innere Rand gegenüber dem äußeren sich hebt. Die Fußplatte erscheint gleich einem Bande gedreht, und zwar im Sinne einer Einwärtstorsion der vorderen Teile gegenüber den hinteren. Während die fünf Strahlen im Zehenteil rückwärts bis zu den Metatarsusköpfen horizontal nebeneinander liegen, zeigt sich an der Chopartschen Trennungsfläche das vordere Ende des Talus nach oben und innen vom vorderen Ende des Calcaneus gelegen. Nach rückwärts davon schickt der Calcaneus einen Fortsatz (Sustentaculum tali) unter das vordere

Ende (Kopf) des Talus nach innen. Nach hinten davon aber legt sich der Talus, lateralwärts verbreitert (Taluskörper) über die Mitte des Calcaneuskörpers (Verschränkung). Die breite unregelmäßig gestaltete Trennungsfläche zwischen Talus und Calcaneus steht hier im ganzen nicht vertikal, sondern verläuft mehr horizontal von der dorsalen zur plantaren Seite. Die Dorsalseite des hinteren Abschnittes des Calcaneus ist fast direkt nach außen, die Plantarseite fast direkt nach innen gewendet.

Der Talus bildet den höchst gelegenen Teil der Fußplatte. Er vermittelt die Verbindung mit dem Unterschenkelskelett.

Figur 78 A entspricht dem Hinterstück bei der Amputation im Chopart, bei „normaler Fußstellung", in der Ansicht von vorn. Sie zeigt die vorderen Gelenkflächen des Calcaneus und des Talus neben- und übereinander. Diejenige des Talus ist nach vorn in zwei Richtungen konvex, diejenige des Calcaneus ist eigentümlich sattelförmig. Fig. 78 B zeigt, ebenfalls bei normaler Fußstellung und Ansicht von vorn die vorderen Endflächen der Keilbeine und des Würfelbeins (Hinterstück nach Amputation im Lisfranc); die äußeren Elemente, vom zweiten Keilbein an, stehen tiefer als die inneren.

2. Übersicht über die Gelenke des Fußes.

Aus der beschriebenen Torsion der Fußplatte ergibt sich, daß der Talus den höchsten, dem Unterschenkel zunächst gelegenen Teil des Fußskelettes bildet. Sein Körper ist oben mit einem rollenartigen Gelenkteil zwischen die beiden Malleolen der Tibia und der Fibula eingeschoben und im oberen Sprunggelenk (Fuß- oder Knöchelgelenk, Articulatio talo-cruralis) mit dem Skelett des Unterschenkels verbunden. Mit der Gelenkhöhle des letzteren kommuniziert die Gelenkspalte des unteren Tibio-Fibulargelenkes. Das ganze übrige Fußskelett außer dem Sprungbein kann als subtalare Fußplatte bezeichnet werden. Die Verbindung zwischen ihr und dem Talus geschieht in zwei Gelenken, einem vorderen inneren, an welchem der Taluskopf und andererseits der vordere Teil des Calcaneus und das Naviculare beteiligt sind (vorderes unteres Sprunggelenk, Articulatio talo-calcaneo-navicularis), und einem hinteren äußeren zwischen dem Taluskörper einerseits, dem mittleren Teil des Calcaneus andererseits gelegenen Gelenk (hinteres unteres Sprunggelenk, Articulatio talo-calcanea). Zwischen beiden Gelenken hindurch verläuft der Canalis tarsi von der Dorsalseite schräg einwärts und rückwärts zur Plantarseite. Sein erweiterter dorsaler Zugang ist der Sinus tarsi.

Außer diesen zwei unteren Sprunggelenken besteht intratarsal noch ein Gelenk zwischen Calcaneus und Kuboid (Articulatio calcaneo-cuboidea) und ein solches zwischen dem Naviculare und den drei Keilbeinen (Articulatio cuneo-navicularis). Die Gelenkspalte des letzteren setzt sich in zwei Ausläufern auch zwischen die Keilbeine, aber nur eine kleine Strecke weit in die längsverlaufende Verbindungszone zwischen dem Kuboid und seinen inneren Nachbarknochen hinein

fort. Die Spalte zwischen dem zweiten und dem Keilbein erstreckt sich gewöhnlich bis in die Lisfrancsche Amputationsfläche und kommuniziert hier mit der Gelenkspalte des mittleren Tarso-metatarsalgelenkes.

Die Lisfrancsche Amputations- resp. Verbindungszone zeigt gewöhnlich drei voneinander gesonderte Gelenkspalten, eine zwischen dem ersten Keilbein und dem ersten Metatarsale (inneres Tarso-metatarsal-

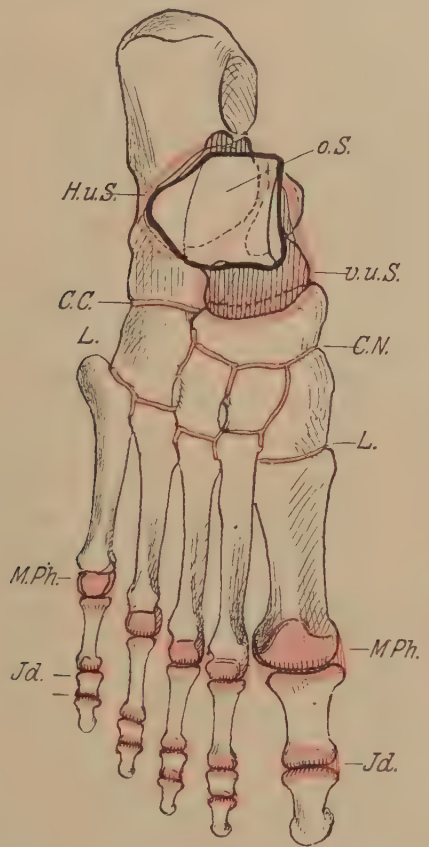


Fig. 79. Übersicht über die Gelenke des Fußes. *o. S.* oberes Sprunggelenk (schwarze Kontur), *H. u. S.* hinteres unteres Sprunggelenk, *v. u. S.* vorderes unteres Sprunggelenk, *C. C.* Articulatio calcaneo-cuboidea, *C. N.* Articulatio calcaneo-navicularis, *M. Ph.* Metatarsophalangealgelenke, *Id.* Interphalangealgelenke.

gelenk), eine zweite zwischen dem zweiten und dritten Keilbein und dem zweiten und dritten Metatarsale (mittleres Tarso-metatarsalgelenk) und eine dritte zwischen dem Kuboid und dem vierten und fünften Metatarsale (äußeres Tarso-metatarsalgelenk). Nebenspalten dieser Gelenke dringen zwischen die Basen der Metatarsalia

und vom mittleren Gelenk auch rückwärts zwischen die Keilbeine hinein. Auf die fünf Tarso-Metatarsalgelenke folgen die Gelenke zwischen den Gliedern der Strahlen, nämlich fünf Metatarso-phalangealgelenke, fünf proximale Interphalangealgelenke und in der Regel vier distale Interphalangealgelenke, indem der Großzehenstrahl ein solches Gelenk nicht besitzt [1]).

Vorstehende schematische Abbildung gibt eine Übersicht über die erwähnten Gelenke des Fußes.

3. Genaueres über einzelne Skelettstücke des Fußes.

Nachdem wir eine erste Übersicht über die Gliederung des Fußes gewonnen haben, ist der Augenblick gekommen, um die Gestalt der einzelnen Elemente des Fußskelettes, ihre nachbarlichen Beziehungen und ihre Gelenkflächen etwas genauer zu studieren, unter stetem Hinblick auf die Stelle, die sie im ganzen Zusammenhang einnehmen. Auch jetzt noch wird man von zahllosen kleinen Details absehen, die erst ein Interesse gewinnen, wenn die anatomischen und funktionellen Beziehungen der Bänder und Muskeln zum Skelett usw. in Berücksichtigung gezogen werden.

Wir wollen uns hier damit begnügen, beispielsweise für den Talus und für den Calcaneus zu zeigen, welche Verhältnisse vor allem etwa zu berücksichtigen sind.

a') Der **Calcaneus** stellt einen mächtigen, in der Längsrichtung des Fußes verlaufenden, von beiden Seiten abgeplatteten Knochenbalken dar. Sein hinteres Ende ist durch Ausladung nach oben und namentlich nach unten und innen zum Fersenhöcker (Tuber calcaneum) verdickt. Die untere Ausladung zerfällt undeutlich in zwei Tubercula. Der mittlere Teil des Balkens erhebt sich zu einem oberen Fortsatz, den man zweckmäßig als Processus superior bezeichnet. Seine nach vorn und innen abfallende Seite ist überknorpelt und namentlich in Linien, die von hinten innen nach vorn außen gehen, konvex. Auf dieser Gelenkfläche gleitet der Körper des Talus (hinteres unteres Sprunggelenk). Der Hauptteil des Balkens vor diesem oberen Fortsatz wird als Processus anterior bezeichnet. Von seinem inneren oberen Rand geht eine dreieckige Platte nach innen, welche den Kopf des Talus trägt (das Sustentaculum tali) und mit Gelenkflächen für die innere Peripherie desselben versehen ist. Zwischen diesen Gelenkflächen und der Gelenkfläche des Processus sup. liegt eine Einsenkung, die Incisura calcanei, deren Grund hinten innen eng beginnt und sich nach vorn außen ausbreitet. Sie bildet den Boden des Canalis tarsi und seines trichterförmig erweiterten dorsalen Eingangs (des Sinus tarsi).

Das vordere Ende des Hauptbalkens (Processus ant.) verdünnt sich durch plötzlichen stufenförmigen Zuschnitt von unten her. Seine dem Kuboid zugewendete überknorpelte Endfläche (Articulatio calcaneo-cuboidea) ist annähernd dreiseitig, die obere etwas dem Taluskopf zugewendete Seite und die äußere Seite entsprechen beide im wesentlichen mit den dahinter gelegenen Flächen des Calcaneus dem Fußrücken, die innere untere Seite der Planta pedis. Die Dorsalseite des Calcaneus ist im übrigen ziemlich eben und ziemlich vertikal gestellt (bei normalem Fuß und aufrechtem Stand auf der Sohle).

b') **Talus.** Der vordere Teil des Talus, der vorn zum gerundeten Kopf verdickt und dahinter halsartig eingeschnürt ist, liegt hinter dem Naviculare im inneren Fußrand. Der Kopf drängt sich mit gewölbter überknorpelter Endfläche in das Naviculare hinein, deckt von oben den Einschnitt zwischen dessen unterem Rand und dem Sustentaculum tali und ruht meist auch noch auf dem Randteil des letzteren und der oberen inneren Ecke des Processus ant. calcanei.

---

[1]) Mit ebenso gutem Recht kann man behaupten, daß vier erste oder proximale und fünf zweite oder distale Interphalangealgelenke vorhanden sind, insofern als das Interphalangealgelenk der großen Zehe einem distalen Interphalangealgelenk der übrigen Zehen entspricht.

Der hintere Teil des Talus (Körper) schließt sich hinten dem Hals an, überragt ihn aber nach außen, indem er sich über die Inzisur des Calcaneus und über den Processus sup. hinüberlegt und mit letzterem in schräg rückwärts, auswärts

Fig. 80. Rechter Fuß, Plantarseite.

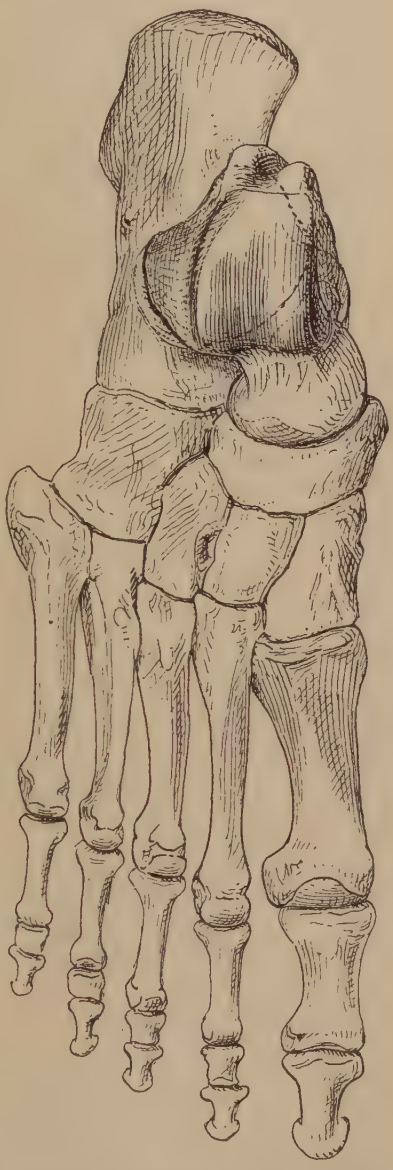


Fig. 81. Rechter Fuß, Dorsalseite.

und nach unten gewendeter konkaver Gelenkfläche artikuliert. Nach oben wölbt er sich aus zur Bildung eines rollenförmigen Gelenkkörpers (Talusrolle) mit überknorpelter Mantelfläche und seitlichen, den Randkanten entlang überknorpelten Basisflächen. Die Mitte der Rolle liegt einwärts über der Mitte der unteren Gelenkfläche. Der untere Teil des Taluskörpers, der mit dem Processus sup. des Calcaneus artikuliert, zieht sich unter dem hinteren Ende der inneren Randkante der Rolle vorbei nach hinten zu einem Processus tali post. aus, der nach der Plantarseite vorspringt. Ein lateraler Teil desselben ist mitunter als Os trigonum abgegliedert. Vor und über diesem Fortsatz bilden das Sustentaculum tali, der Höcker des Naviculare, die innere Rundung des Taluskopfes und der innere Knöchel (der Tibia) ein System von Vorragungen, welche dem inneren Fußrand und seinem Übergang in die Innenseite der Tibia entsprechen. Zwischen ihnen und dem Fersenhöcker und weiterhin dem vom Calcaneus und Kuboid gebildeten unteren lateralen Fußrand ist die Plantarseite zur Plantarrinne ausgehöhlt. Indem der innere Randteil des Vordertarsus (Höcker des Naviculare und 1. Keilbein) als mächtiger Randbalken den übrigen Teil der Fußplatte plantarwärts überragt und auch das erste Metatarsale aus der Flucht der übrigen plantarwärts vorspringt, ist die Plantarrinne bis zu den Zehen hin deutlich und im mittleren Teil des Fußes nahe dem inneren Fußrand in besonderer Weise vertieft und verschärft.

Am Dorsum befindet sich zwischen dem Talushals und dem auswärtsragenden Taluskörper eine scharfe Ecke, deren Boden durch den Calcaneus (Incisura intertarsea) gebildet ist. Sie bildet den erweiterten Eingang (Sinus tarsi) zu dem zwischen Talus und Calcaneus hindurchgehenden, schräg nach hinten und innen die Fußplatte durchsetzenden, im weiteren Verlauf stark verengten Kanal (Canalis tarsi), der an der Plantarseite hinter dem Sustentaculum tali ausmündet.

In ähnlicher Weise wie der Calcaneus und der Talus müssen auch die übrigen Elemente des Fußskelettes in ihren Beziehungen zur Nachbarschaft und zum ganzen Fuß studiert werden.

B. Muskeln und Faszien.

α) Übersicht über die Muskeln des Unterschenkels und Fußes.

1. Dorsale Muskeln. (Fig. 82.)

a) **Tiefe Schicht,** nur am Fuß, im Bereiche der subtalaren Fußplatte vertreten: M. extensor hallucis brevis und M. extensor digitorum communis brevis.

b) **Oberflächliche Schicht,** an Unterschenkel und Fuß, durch den Malleolus lateralis in eine tibiale vordere und eine fibulare hintere Gruppe geteilt:

a′) Tibiale Gruppe.

M. tibialis anterior, M. extensor hallucis longus, M. extensor digitorum communis longus (und Peroneus III).

b′) Fibulare Gruppe.

M. peroneus brevis und M. peroneus longus. Die Sehne des letzteren schlingt sich am Kuboid um den lateralen Fußrand herum und läuft in der tiefen Bandmasse der Planta pedis, von der Umgebung abgespalten, nach innen und vorn hinüber bis zur Basis des I. Metatarsale.

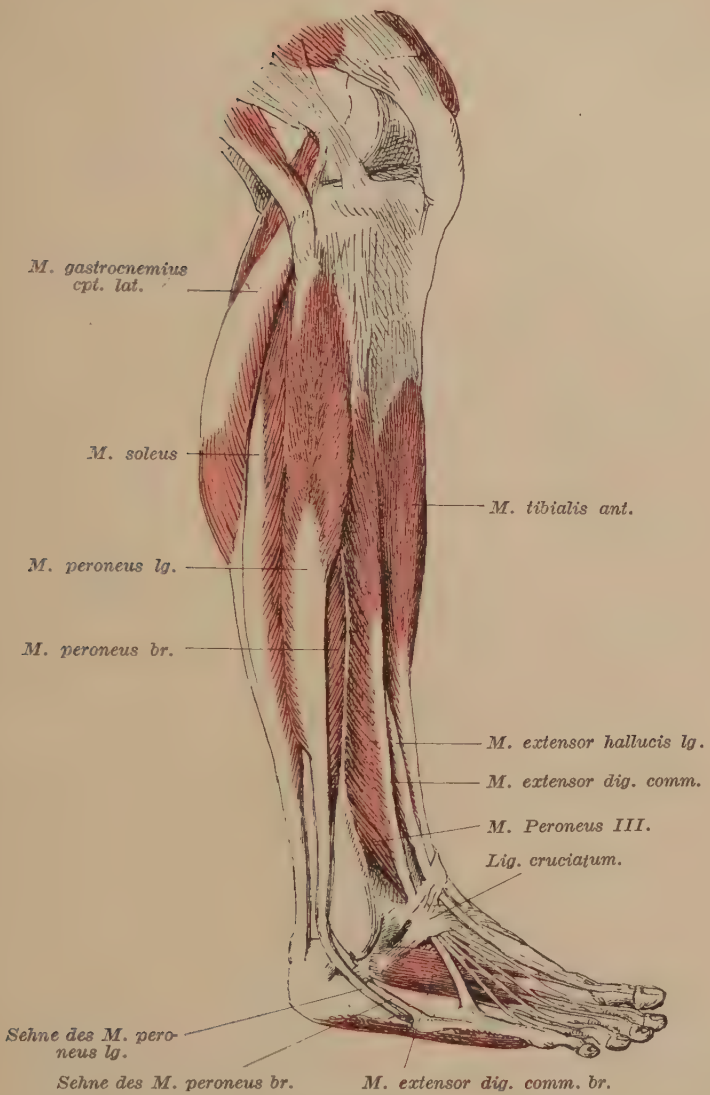


Fig. 82. Muskulatur des Unterschenkels und Fußes. Ansicht von außen.

2. Plantare Muskeln.

a) **Tiefe kurze Muskeln der Planta pedis.** Nur im Bereich der subtalaren Fußplatte. Sie dienen der Bewegung der Strahlen; ihre Fleischmasse füllt den Raum der Spatia intermetatarsalia bis ins Niveau des Dorsum und deckt die Metatarsalia von der plantaren Seite

bis nahe an die Metatarsalköpfchen zu. Insertion zum Teil an der Basis der ersten Phalangen (unter Verschmelzung mit der plantaren

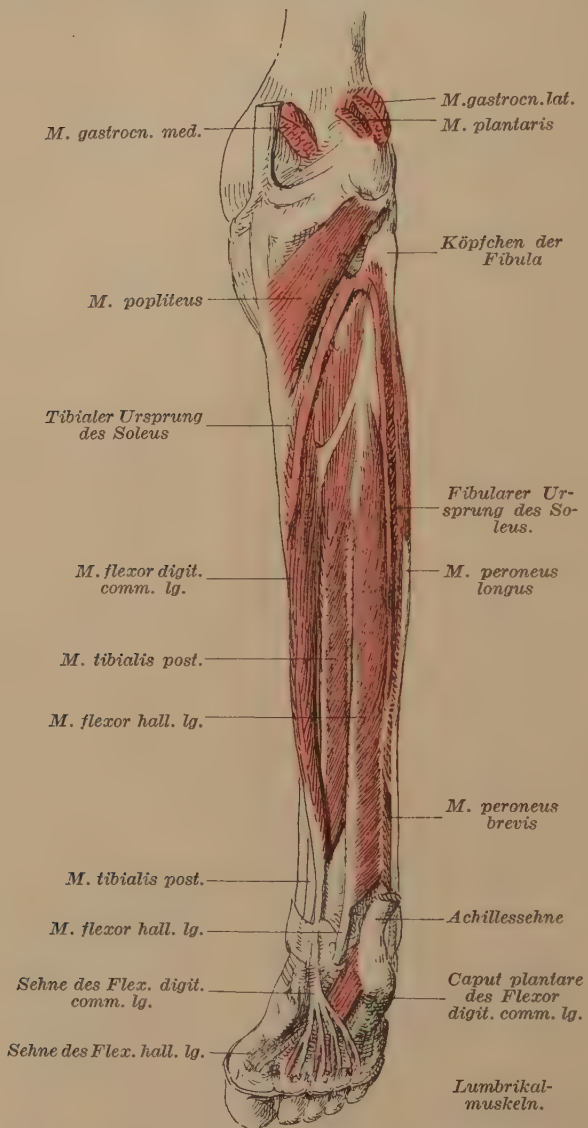


Fig. 83. Tiefe Muskeln der plantaren (hinteren) Seite des Unterschenkels.

Kapselwand der Metatarsophalangealgelenke). Einige Sehnen aber gehen seitlich an der Basis der ersten Phalanx vorbei zum Dorsum, zur Ver-

einigung mit der Dorsalsehne („Dorsalaponeurose") der Zehen. Das Fleischpolster dieser Schicht greift auch noch unter dem Tarsus, die Peroneus longus-Sehne bedeckend, proximalwärts, namentlich an den Rändern der Planta. Am lateralen Fußrand greift der Abductor digiti V rückwärts bis zum Fersenhöcker. Dem medialen Fußrande folgt der Abductor hallucis bis zum Naviculare, um von da, der Faszie entlang, und einen Faszienstreifen (Lig. laciniatum) als Ursprung benutzend,

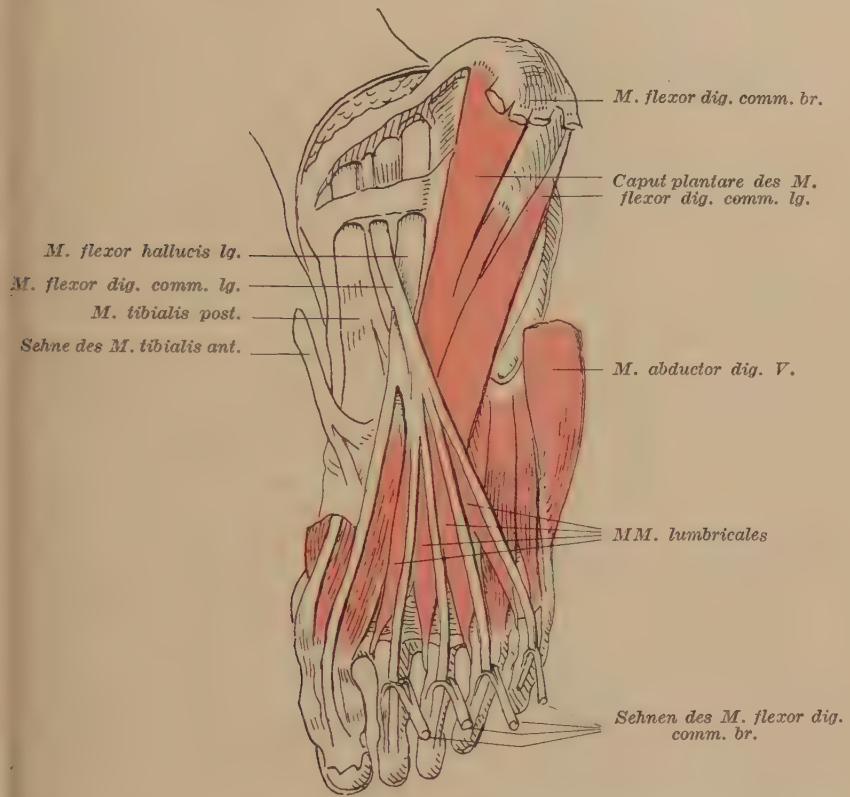


Fig. 84. Fortsetzung der tiefen plantaren Unterschenkelmuskeln an der Fußsohle. Caput plantare des M. flexor dig. comm. lg. und Lumbrikalmuskeln. (Mach Toldt.)

über die Plantarrinne und die in ihr vom Unterschenkel zur Sohle verlaufenden Muskeln, Gefäße und Nerven zur Ferse hinüberzubrücken. Die beiden zur Ferse zurückgreifenden Muskeln bilden den Übergang zu dem zwischen ihnen oberflächlich gelegenen kurzen gemeinsamen Zehenbeuger (M. flexor digit. comm. brevis).

Auf die Zusammensetzung der tiefen Muskeln der Fußsohle werde ich später noch genauer eingehen (S. 175).

b) **Tiefe Schicht der plantaren Unterschenkelmuskeln und ihre Fortsetzung an der Fußsohle** (Figg. 83 und 84).

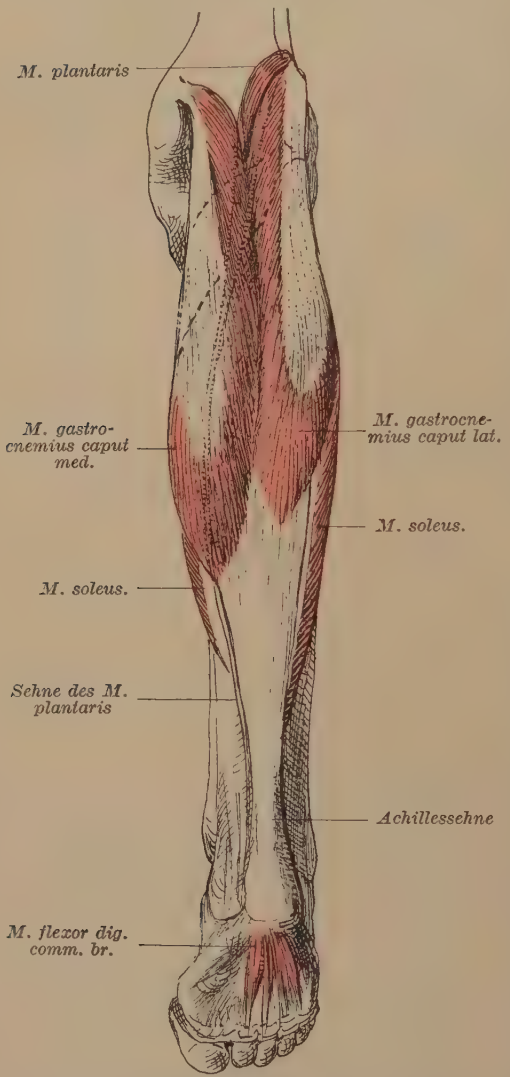


Fig. 85. Oberflächliche plantare Muskeln am Unterschenkel und Fuß (Triceps und Plantaris, Flexor digit. comm. br.).

a′) Der M. popliteus, an der Rückseite des Knies, nach oben von der Linea obliqua der Tibia, ein kurzer, eingelenkiger, nur das Kniegelenk überspringender Muskel.

b′) Drei tiefe, zur Fußsohle laufende Muskeln: unterhalb der Linea obliqua.

Sie enden in folgender Reihenfolge am Fußrand nebeneinander:
am inneren Fußrand der M. tibialis posterior,
an der großen Zehe der M. flexor hallucis longus,
an den folgenden Zehen der M. flexor digitorum communis profundus.

Die Endsehne des letztgenannten Muskels überkreuzt die Endsehnen der beiden anderen Muskeln, die ihre Lage zueinander beibehalten, und zwar kreuzt sie die Sehne des M. tibialis post. hinter dem Malleolus med. und später erst, im Bereiche der Planta pedis, die Sehne des M. flexor hallucis longus. Am Unterschenkel liegt also der Flexor digit. comm. prof. am meisten medial, auf ihn folgt außen der M. tibialis post. und am meisten fibulärwärts der M. flexor hallucis longus. Alle drei Muskeln erreichen die Planta pedis nur mit ihren Endsehnen; diese sind im Bereich des medialen Knöchels, des Sprung- und Fersenbeines durch verstärkte Teile einer tiefen Faszie (Retinacula) an das Skelett geheftet. Bei der zweiten Sehnen-

kreuzung findet eine Sehnenverschmelzung statt. In die Verschmelzungsmasse dringt gleichsam von der proximalen Seite her eine Spalte ein, welche eine oberflächliche Partie von einer tiefen sondert, und von der distalen Seite her dringt eine Spalte ein, welche nebeneinander gelegene Teile (Sehne zur ersten Zehe und Sehnen zu den äußeren Zehen) sondert. Beide Spalten können mehr oder weniger weit übereinandergreifen, so daß komplizierte Figuren entstehen. Alle ge-

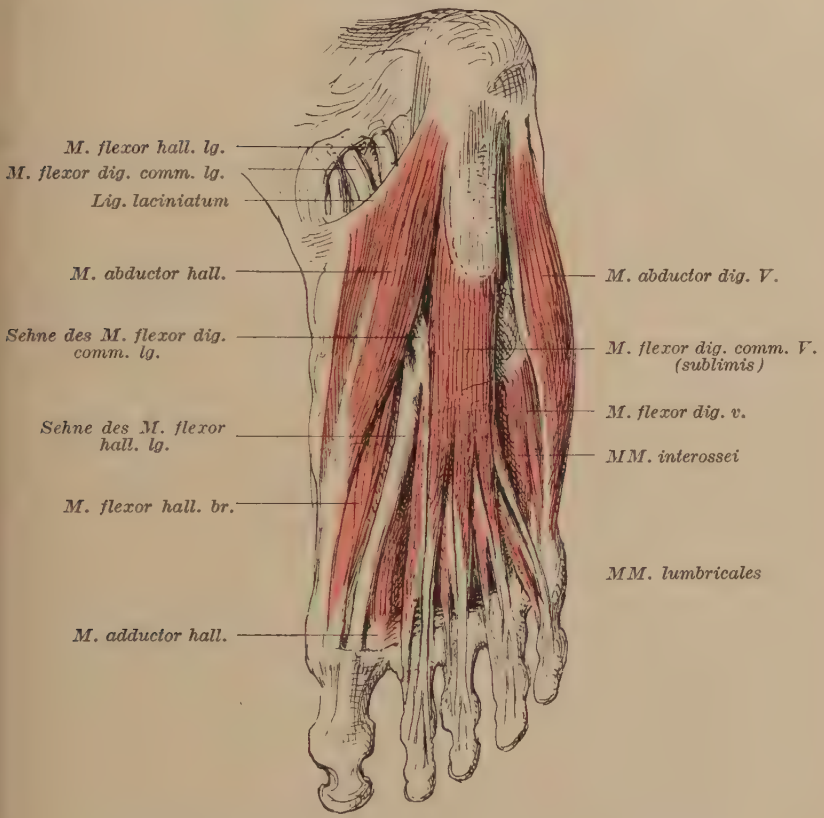


Fig. 86. Muskeln der Planta pedis. (Nach Toldt.)

nannten drei Muskeln überspringen das obere und die unteren Sprunggelenke, zum Teil auch noch die Gelenke der Strahlen.

Mit der Sehne des Flexor digit. comm. prof. sind in der Fußsohle verbunden (Fig. 84):

Das Caput accessorium plantare, das fleischig von der Innenseite des Fersenhöckers zum lateralen Rand der Flexor digit. comm. brevis-Sehne zieht. Ferner

die Lumbrikalmuskeln, welche an der Sehne des tiefen gemeinsamen Zehenbeugers entspringen und sich distalwärts dem tiefen Muskelpolster anschließen.

c) **Oberflächliche**, durch den Ansatz resp. Ursprung am Fersenhöcker hochgehobene, plantare **Muskeln des Unterschenkels und Fußes:**

a′) am Unterschenkel der

M. triceps surae; sein tiefer Kopf (M. soleus) überspringt nur die Sprunggelenke; die beiden oberflächlichen Köpfe (M. gastrocnemius medialis und M. gastrocnemius lateralis) überspringen auch das Kniegelenk zwischen Gastrocnemii und Soleus der M. plantaris (Fig. 85).

b′) Am Fuß (Fig. 86) der

M. ext. digit. comm. brevis sublimis, an den sich innen der M. abductor hallucis, außen der M. abductor digiti V (der tiefen Schicht) anschließt. Auch dieser Muskel hat, wie die Muskeln des tiefen Muskelpolsters des Fußes, keinen Einfluß auf die Sprunggelenke, sondern wirkt nur an der subtalaren Fußplatte, vornehmlich zur Bewegung der Zehen.

Eine besondere Besprechung verdient die Faseranordnung des Triceps. Sie entspricht im allgemeinen dem im I. Band dieses Lehrbuches in Fig. 55 dargestellten Schema. Die Achillessehne breitet sich oben flächenhaft aus und spaltet sich in zwei Blätter. An das vordere Blatt heften sich die von vornher kommenden, am Unterschenkelskelett entspringenden Fleischfasern des Soleus; an dem hinteren Blatt aber die oberhalb der Femurkondylen am Femur selbst und die von den zwei oberflächlichen Ursprungssehnen herkommenden Fleischfasern der Gastrocnemii. Löst man aber den Triceps an seinem Ursprung ab und betrachtet ihn von seiner vorderen tiefen Seite, so glaubt man im ersten Augenblick einen besonderen, auffällig schön doppeltgefiederten Muskel ihm aufgelagert zu entdecken. Eine genauere Zergliederung zeigt dann, daß die mittlere Sehne dieses Muskels nichts anderes ist als der freie Rand eines nach vorn in die Soleusfleischmasse einragenden Nebenblattes der Soleusendsehne. Die Fleischfasern des Soleus steigen nicht bloß nach hinten zum Hauptsehnenblatt, sondern auch von beiden Seiten her zu diesem Nebensehnenblatt ab. Und zwar entspringen die Soleusfleischfasern nur zum kleinen Teil direkt an der Tibia und an der Fibula. Zum größeren Teil gehen sie von zwei Ursprungssehnenblättern ab, die sich jederseits in die Fleischmasse des Soleus gegen die Winkel hin, welche das Nebenblatt der Endsehne mit dem Hauptblatt bildet, schräg einfalzen (Fig. 87 l. u. und f. u). Nur ein schmaler Randteil der beiden Ursprungssehnenzungen, die sich fast bis zum unteren Ende des ganzen Muskels erstrecken, liegt jederseits von den federförmig angeordneten, zum Nebenblatt der Endsehne gehenden Fasern an der tiefen Fläche des Muskels frei.

Davon, daß am Soleus die Fleischfasern ähnlich wie beim Rectus abdominis durch Vermittlung von Zwischensehnen übereinander gereiht sind, wie R. Fick vermutet, kann keine Rede sein.

Eine Vergrößerung des physiologischen Querschnittes des Muskels äußert sich wegen der schrägen Faseranordnung weniger in einer Verdickung des Muskels als in einer Ausbreitung des Muskelfleisches nach der Ferse zu, also in einer Verbreiterung und namentlich in einer Verlängerung der Muskelbäuche. Beim Neger ist wegen des längeren Fersenfortsatzes des Calcaneus die Inanspruchnahme auf Spannung geringer, die Fleischfasern müssen länger sein. Dem entspricht eine Verkürzung der Muskelbäuche. Die Wade endet höher oben und ist schmäler (Joachimsthal, Arch. f. klin. Chir. Bd. 54, Herz 1903).

Die Sehnen der tiefen Beuger verlaufen bis zur Endphalanx. Diejenigen des oberflächlichen Zehenbeugers spalten sich und gehen, mit zwei Zipfeln die tiefe Sehne zwischen sich fassend und durchlassend

(an der 2.—4. und wenn vorhanden auch an der 5. Zehe) zur Basis der mittleren Phalanx. Dies entspricht bei plantarwärts eingekrümmten Zehen der möglichst geradlinigen Fortsetzung des Zuges in den oberflächlichen Teilen der plantaren Sehnenmasse der Zehen. In den zentralen tiefen Teilen derselben aber kann sich der Zug des tiefen Zehenbeugers, eingerahmt und abgelenkt durch die oberflächliche Sehnengabel, dem Skelett entlang weiter bis zur letzten Phalanx fortpflanzen.

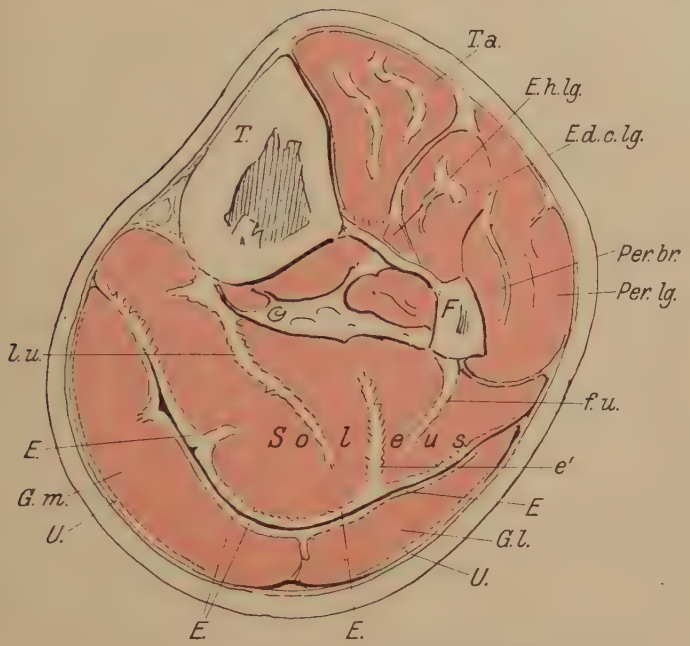


Fig. 87. Querschnitt durch den Unterschenkel in der Mitte der Wade. *T.* Tibia, *F.* Fibula, *l. u.* tibiales, *f. u.* fibulares Ursprungssehnenblatt des Soleus, *e.* Endsehnenblatt des Soleus, *e'* Nebenblatt der Soleusendsehne, *Gl.* Gastrocnemius lat., *G. m.* Gastrocnemius medialis, *E.* Endsehnenblatt der Gastrocnemii, *U. U.* Ursprungssehnenblätter der Gastrocnemii.

Solche Verhältnisse waren wohl schon bei der Sonderung der anfänglich einheitlichen plantaren Sehnenanlage der Zehen in perforierte und perforierende Sehnen maßgebend. Verbindungen zwischen der tiefen Sehne und proximalen Phalangen können als Vincula tendinum erhalten bleiben.

3. Die kurzen plantaren Muskeln der Skelettstrahlen.

Von allen Metatarsalia ist das zweite das am wenigsten gegenüber dem Tarsus bewegliche. Ihm entspricht der tiefste Grund der Plantarrinne. Nach beiden Fußrändern nimmt von ihm aus die Beweglichkeit

der Metatarsalia zu. Die kurzen plantaren Muskeln des Fußes, welche die Strahlen bedienen, zeigen eine Art symmetrischer Anordnung zu dem zweiten Strahl. Sie sind undeutlich in eine mehr dorsale und eine mehr plantare Lage gesondert. Die auf die Spatia interossea und auf die Fußränder beschränkten dorsalen Muskeln werden in ihren Ursprüngen durch die Metatarsalia und die Randbalken des Fußes auseinandergehalten, während die plantaren Muskeln naturgemäß mit ihren Ursprüngen mehr in der plantaren Rinne zusammenrücken und im ganzen proximalwärts konvergieren können. Die dorsalen Muskeln sind deshalb naturgemäß die abduktorischen Muskeln, welche die Strahlen, und zwar wesentlich von der jeweiligen Mittellinie der zweiten Zehe weg zur Seite ziehen. Sie bedienen auch beiderseits den zweiten Strahl selbst.

a) Dorsale abduktorische Muskeln.

Vier Muskeln dieser Schicht sind in die vier Spatia interossea eingelassen und erreichen in ihnen das Niveau der Dorsalseite des Skelettes als Mm. abductores interossei (dorsales). Die zwei ersten bedienen die zweite Zehe, der dritte und vierte die gleichnamigen Zehen. Dazu kommen zwei Mm. abductores non interossei, welche den Fußrändern entlang proximalwärts bis zur Ferse zurückgreifen, der M. abductor digiti quinti und der M. abductor hallucis, der unter Benutzung eines Faszienbogens zum Ursprung (Lig. laciniatum) vom inneren Fußrand aus die Plantarrinne überbrückt und sich ebenfalls bis zur Ferse erstreckt.

b) Plantare, adduktorische Muskeln.

Es fehlen nur noch zur seitlichen Bewegung der Strahlen, und zwar zur Adduktion gegen den zweiten Strahl je ein Muskel für die erste und für die dritte bis fünfte Zehe. Hierfür kommt naturgemäß die etwas mehr plantar gelegene Muskelschicht auf, deren Fasern proximalwärts konvergieren können. Die Adductoren der drei äußeren Zehen finden noch zum Teil in den drei äußeren Spatia intermetatarsalia Unterkunft als Mm. adductores interossei (I. plantares), schließen sich aber auch plantar von den Metatarsalia zusammen. Der mächtige Adductor der großen Zehe aber findet im ersten Spatium interosseum nicht Platz, sondern greift über die Plantarseite der Interossei als M. adductor hallucis non interosseus hinüber, mit einem distalen, queren Kopf zu den zwischen den Interossei plantarwärts ragenden Endköpfchen der Metatarsalia (resp. den plantaren Kapselverdickungen der Metatarsophalangealgelenke) und mit einem proximalen mächtigen Caput obliquum zu der von Muskelfleisch freigelassenen plantaren Fläche des Vordertarsus (ihrer plantaren Bandmasse, in welche die Peroneus longus-Sehne eingelassen ist).

c) Indermediäre Muskeln an den Fußrändern.

Zwischen den Gruppen der abduktorischen und der adduktorischen Muskeln bleibt unter den Fußrändern noch Platz für Muskeln, die weder abduzieren noch adduzieren, sondern wesentlich nur plantarwärts bewegen, und zwar unter dem inneren Fußrand für einen kräftig

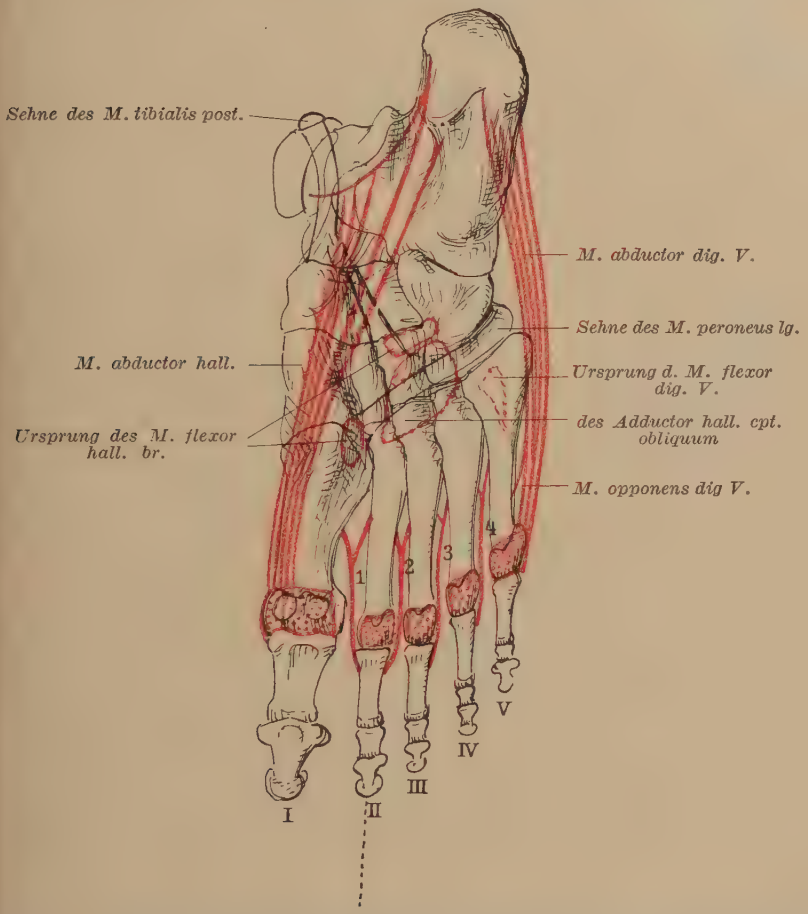


Fig. 88. Übersicht über die Abductoren. *1, 2, 3, 4* erster bis vierter M. interosseus dorsalis (Abductores interossei).

entwickelten M. flexor hallucis brevis und unter dem äußeren Fußrand für einen gelegentlich vorhandenen sog. M. opponens digiti minimi, der sich am Metatarsale V ansetzt, und für den konstanten M. flexor digiti minimi.

Sämtliche Mm. interossei sind im allgemeinen dadurch ausgezeichnet, daß ihre Endsehnen bei normaler Entwicklung an der Seite der ersten Phalanx ihres Insertionsstrahles vorbeigehen, um sich mit der Dorsalaponeurose des letzteren zu verbinden, während die übrigen kurzen Muskeln der Strahlen, mit Ausnahme des Opponens digit. V an der

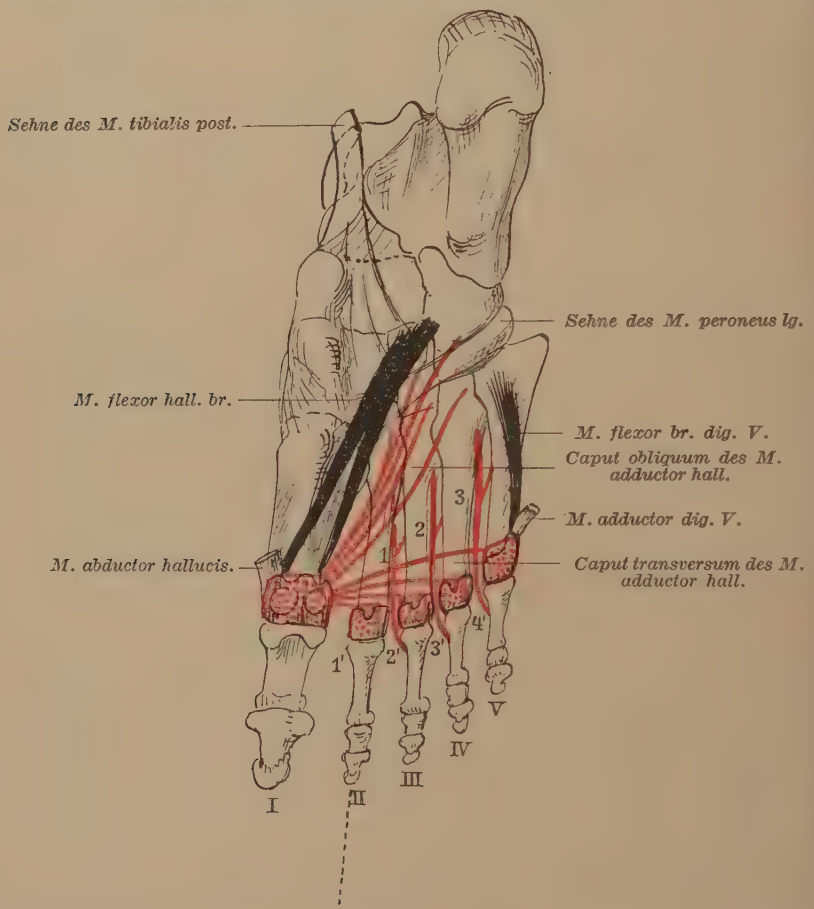


Fig. 89. Übersicht über die Adductoren (rot) und die intermediären Muskeln (kurze Flexoren, schwarz). *1, 2, 3* erster, zweiter und dritter M. interosseus plantaris (Adductores interossei) im 2., 3. und 4. Spatium interosseum.

Basis der ersten Phalanx angeheftet sind. Dabei verschmelzen die letzteren in größerem oder geringerem Umfang mit der basalen Kapselwand des Metatarsophalangealgelenkes. Doch kommt es häufig vor, daß auch die Interossei die Dorsalaponeurose nicht erreichen, sondern vorher mit der ersten Phalanx verschmelzen.

Als Muskeln, welche sich mit ihren Enden dem tiefen Muskelpolster (den Interossei), mit ihrem Ursprung dem tiefen gemeinsamen Zehenbeuger anschließen, sind die Mm. lumbricales zu betrachten. In der Regel geht an der 2.—4. Zehe je ein Lumbrikalmuskel an der inneren Seite der Basis der ersten Phalanx vorbei zum Dorsum der Zehe, um sich mit verbreiterter Endsehne in die Strecksehne einzuheften. Er liegt im Bereich der Metatarsophalangealgelenke plantar von der Fascia interossea plantaris (Ligg. capitulorum), der Vagina fibrosa der zugehörigen Zehe oberflächlich angeschmiegt. Erst proximal von der Sehnenscheide der betreffenden Zehe ist der Ursprung an der in diese Sehnenscheide eindringenden Beugesehne möglich bis zu der Stelle hin, wo sich die Beugesehnen zusammenschließen. Hier kann auch noch die Nachbarsehne zum Ursprung benutzt werden. (Ausnahmsweise inseriert der Lumbrikalmuskel der 3., 4. oder 5. Zehe auch an der 2. resp. 3. oder 4. Zehe oder nur an dieser. Auch die Lumbricales heften sich nicht selten bereits an der Basis der ersten Phalanx an und erreichen nicht die Dorsalsehne.)

Die Zehenextensoren wirken für sich allein vorzugsweise auf die Grundphalanx und nur in geringerem Maße auf die folgenden Phalangen zur Streckung. Die gemeinsamen Zehenbeuger aber beugen in erster Linie die distalen Phalangen und nur nach Maßgabe der Behinderung und Vollendung dieser Beugung, und vermöge der bei plantar eingekrümmten Zehen an den Ligg. vaginalia angreifenden Komponenten auch die proximalen Phalangen. Die Mm. interossei und Lumbrikalmuskeln wirken auf die erste Phalanx plantarwärts beugend, unterstützen aber, wenn sie die Dorsalaponeurose erreichen, die Wirkung der Dorsalextensoren zur Streckung der zweiten und dritten Phalanx. Durch Anspannung der Interossei und Lumbrikalmuskeln wird eine mehr gleichmäßige plantare Einkrümmung zustande gebracht, während bei ihrer Lähmung an der ersten Phalanx die langen Strecker, an den beiden letzten Phalangen die gemeinsamen Beuger das Übergewicht haben. Die Lumbrikalmuskeln wirken in dem erwähnten Sinn ausgleichend auch noch dadurch, daß sie durch ihren Ursprung an den Sehnen des tiefen gemeinsamen Zehenbeugers dessen beugende Einwirkung auf die zweite und dritte Phalanx abschwächen.

Die genauere Untersuchung der Beziehung der kurzen plantaren Muskeln zu den Zehengelenken bildet ein wichtiges Moment der Untersuchung dieser Gelenke. Ihre Durchschneidung und teilweise Entfernung soll nur Schritt für Schritt und in engem Zusammenhang mit der Gelenkpräparation vorgenommen werden (siehe den folgenden Abschnitt).

β) Die Faszien am Unterschenkel und Fuß.

1. Dorsalseite.

Wo Muskeln in eine Rinne des Skelettes eingelassen sind, spannt sich das ihre freie Seite bedeckende, beiderseits am Knochen festgeheftete Bindegewebe besonders stark der Quere nach bei der Verkürzung und Verdickung der Muskeln, weil die Vergrößerung des Muskelquerschnittes

und des Muskelumfanges hier nur durch stärkere Vorwölbung der freien Seite geschehen kann. Die Längenänderung, Dehnungs- und Spannungszunahme muß demnach in den Querlinien der überbrückenden Hülle relativ groß sein. Wir dürfen erwarten, daß die Faszie, welche die tibiale Gruppe der dorsalen Muskeln überdeckt, wo sie in die vordere Skelettrinne eingelassen ist, eine starke Querfaserung zeigt, dazu kommt oben eine Längsfaserung, wo die Faszie zum Ursprung von Fleischfasern benutzt wird. Die dem Wadenbein aufgelagerten dorsalen fibularen Muskeln, welche für die Bewegung im oberen Sprunggelenk Antagonisten der tibialen Muskeln sind, kontrahieren sich meist nicht zugleich mit letzteren und haben ihre besondere, beiderseits am Knochen festgeheftete Faszie, so daß die Existenz eines Ligamentum intermusculare zwischen den beiden Gruppen verständlich ist. Ebenso muß ein Lig. intermusculare zwischen den peronealen und den eigentlichen Wadenmuskeln vorhanden sein, welches zugleich Muskelfasern zum Ursprung dienen kann.

Die tibialen dorsalen Muskeln sind schrägfaserige Muskeln, welche über die Beugeseite des Fußgelenkes zum Fuß ziehen. Ihre langen, weit hinaufreichenden Endsehnen kommen naturgemäß in der Krümmungsebene des ganzen Muskels vor die Ursprungsstellen der Fleischfasern zu liegen und die Muskelbäuche bilden schmale Körper, die leistenartig, parallel der Beugungsebene des Fußgelenkes, orientiert sind.

Beiläufig gesagt folgt hieraus, daß die Fleischfasern der Außenfläche der Tibia parallel laufen und zum Ursprung wesentlich nur die Membrana interossea und die Fibula benutzen können. Die Spalten zwischen den drei Muskelbäuchen verlaufen natürlicherweise in der Richtung der Beugungsebene parallel der Außenseite der Tibia und schräg zur Membrana interossea.

In der Gegend des Fußgelenkes hören die Fleischbäuche auf. Die Endsehnen verlaufen im Bogen in der Ebene der Fußabknickung und werden nur durch das umhüllende Bindegewebe auf das Skelett niedergehalten und verhindert, sich zu strecken. Indem sie die Umhüllung von der Unterlage abheben, spannt sich die letztere in queren und schrägen Linien, und zwar oberhalb des Knöchels, ganz im Bereich des Unterschenkels in queren Linien, welche über die Sehnen weg, von der Tibia zur Fibula verlaufen (Lig. armillare), unterhalb des Gelenkes, ganz im Bereich des Fußrückens ebenfalls in queren Linien, welche beiderseits von den Sehnen und zwischen ihnen am Tarsus festgeheftet sind. (Daran schließt sich eine Querfaserung über dem Fleischbauch des Extensor brevis.) Unmittelbar vor dem Fußgelenk aber kommen als nächstgelegene freie Knochenflächen, welche dem Gewebe vor den Sehnen den Abhebungseinflüssen gegenüber Rückhalt gewähren, namentlich in Betracht: das untere Ende der Tibia und der Boden des Sinus tarsi (Calcaneus) am Ursprung des M. ext. digit. comm. brevis, in zweiter Linie das Ende der Fibula und das Naviculare. Der Talus bietet wenig freie Oberfläche zur Anheftung und geringen Rückhalt, weil er sich sowohl gegen den Unterschenkel als gegen den übrigen Fuß bewegt. Wir sehen Fasern von der Fibula über die Sehnen ein-

wärts zum Naviculare absteigen, ein Teil derselben nimmt ihren Weg an der Außenseite der Sehne des Tibialis ant. und bildet einen unteren inneren Tiefenpfeiler; ein Hauptkontingent von Fasern entspringt an der Tibia innen und außen (oberer innerer Tiefenpfeiler) an der Tibialissehne und steigt teils oberflächlich, teils an der tiefen Seite des äußeren

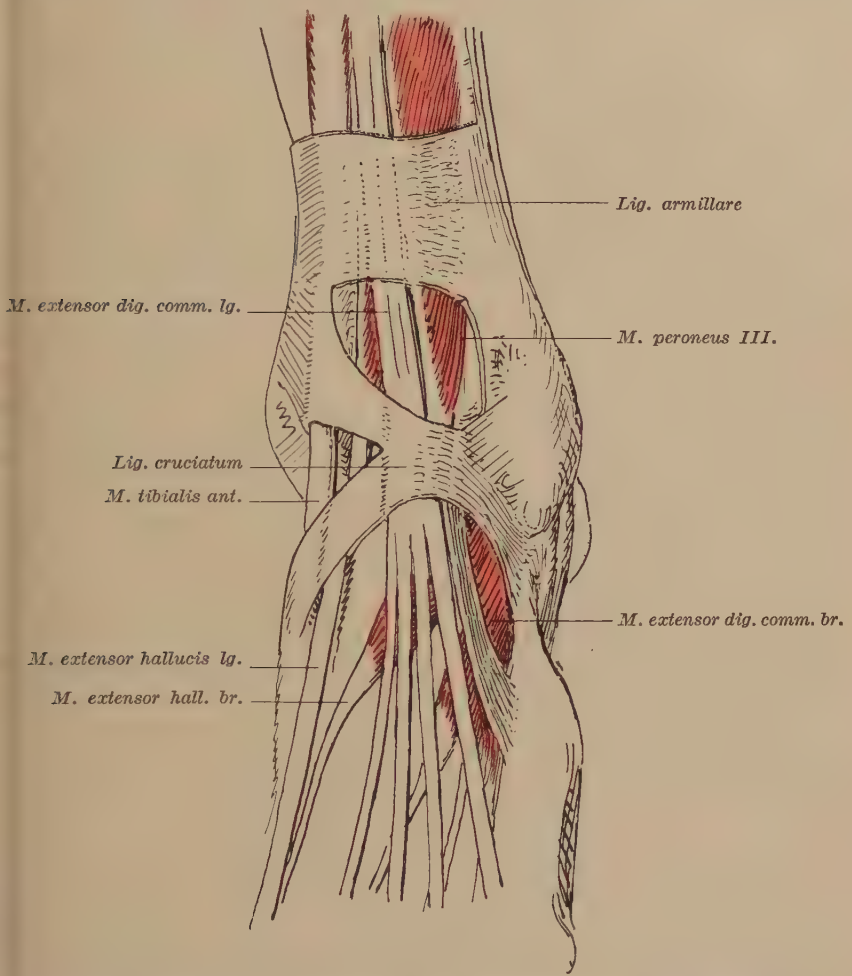


Fig. 90. Muskeln der Fußbeuge. Lig. transversum und Lig. cruciatum.

Sehnenpaketes (Ext. digit. comm. lg. und Per. III) zum Sinus tarsi ab; ihm schließen sich Fasern vom Naviculare an. Endlich schlingt sich eine mächtige Faserlage schleuderbandartig um das äußere Sehnenpaket herum, am Boden des Sinus tarsi entspringend und zu ihm zurückkehrend. Ähnliche schwächere Züge können auch vom Naviculare und

von der Tibia aus um die Tibialissehne herumgehen. Der ganze Faserapparat kann unter Wegnahme der dünneren Stellen bald zu einem Kreuzband, bald leichter zu einem Y-förmigen Band künstlich zurechtgeschnitten werden. Ein oberer und unterer innerer und ein mächtiger äußerer Tiefenpfeiler, welche nach der Tiefe zu divergieren, teilen den Raum unter dem Band in drei Logen für die Sehne des M. tibialis ant., für die Sehne des Extensor hallucis long. (mit den Vasa tibialia ant. und dem Nervus peroneus profundus) und für das äußere Sehnenpaket. Natürlich sind in diesen Logen die Sehnen von ihrer Umgebung abgespalten (Sehnenscheiden).

Weiter distal am Fußrücken ist dann wieder jenseits der Hauptwölbung, in der Rinne zwischen ihr und den Zehen, die Möglichkeit der Abhebung der Sehnen von der Unterlage gegeben. Hier kommt es zur Bildung besonderer Retinacula, bestehend in einer queren und schrägen Faserung, welche meist über jede einzelne Sehne hinüber ein besonderes Dach bildet, das beiderseits mit den Metatarsalia und der Basis der ersten Phalanx Verbindungen eingeht und distalwärts mit den Dorsalsehnen verschmilzt.

Das Vorhandensein von schrägen Faserzügen, welche oberflächlich von den Beugesehnen über die Fußbeuge hinübergehen, ist in prinzipieller Hinsicht beachtenswert. Sie sind bei der Beugung gespannt durch die von der Unterlage sich abhebenden Sehnen, bei der Streckung, indem sich hier ihre Anheftungspunkte voneinander entfernen; schräge, überkreuzende, in der Nähe des Gelenkes angeheftete Fasern spannen sich natürlich bei der Gelenkstreckung mehr, als rein longitudinal an der Beugeseite verlaufende Fasern mit entfernten Anheftungspunkten. Es handelt sich also um sehnige Insubstantiierung der bindegewebigen Umhüllung der Sehnen in denjenigen Linien, welche am beständigsten und gleichmäßigsten stärker gespannt sind.

Es sei hier auch noch darauf hingewiesen, daß die Kreuzbänder für die unter ihnen weggehenden Sehnen Umbiegungspunkte darstellen und daß sich an ihnen ein Teil der Zugwirkung auf den Tarsus überträgt. Das Kraftmoment der betreffenden Muskeln mit Bezug auf das obere Sprunggelenk hängt von der Lage der oberhalb der Umbiegungspunkte gelegenen Sehnenabschnitte zur Gelenkachse ab; für die subtalaren Gelenke sind die distal von den Umbiegungspunkten gelegenen Sehnenstücke für die Zugrichtung bestimmend.

2. Faszie der Plantarseite.

a) Am Unterschenkel.

An der Wade zeigt die Faszie vorzugsweise eine quere Faserung; an der Kniekehle, über die zu beiden Seiten gelegenen Beugesehnen, ziehen auch schräge Fasern hinüber. Innen am Triceps surae heftet sich die Faszie direkt an der Tibia an, außen verbindet sie sich im oberen Abschnitt des Unterschenkels, ebenso wie die Faszie der Vorderseite, durch ein gemeinsames Lig. intermusculare mit der Fibula, während weiter unten eine direkte Anheftung möglich ist. Eine tiefe Faszie, welche die tiefe Muskelschicht bedeckt, ist, soweit der Soleus diesen Muskeln dicht angeschlossen ist, nur schwach entwickelt. Wo sich der Triceps von der Unterlage abhebt, wird die tiefe Faszie kräftiger und zeigt deutliche Querfaserung. Wo sich der Triceps surae gegen

die Ferse zu von den tiefen Muskeln abhebt, folgt ein dünnes Nebenblatt der tiefen Faszie seiner tiefen Seite, namentlich soweit der Muskel noch fleischig ist. Das oberflächliche Blatt, welches hier den Muskel überzieht, verbindet sich seitlich mit den tiefen Faszien; nur zuletzt über der Ferse entsteht ein etwas umfänglicherer fettgefüllter Raum zwischen der Achillessehne und seiner Faszienscheide einerseits und dem tiefen Hauptfaszienblatt andererseits.

b) Am Fuß.

α') Tiefe Faszie der gemeinsamen Fußsohle.

Sie bedeckt das tiefe Muskelpolster und heftet sich an das Skelett, wo es neben dem Polster zutage tritt. Sie ist besonders stark entwickelt (Querfaserung) auf den Mm. interossei, indem hier namentlich im Bereich der Köpfchen Anspannung bei der Spreizung der Metatarsalia stattfindet (Ligg. capitulorum). Zur Anheftung der Querfaserung dienen hier die plattenartig verdickten distalen Teile der plantaren Kapselwände der Metatarsophalangealgelenke (s. u.).

Die Sprunggelenkgegend wird von dem tiefen Muskelpolster ziemlich freigelassen. Von den Retinacula, welche die vom Unterschenkel kommenden langen Sehnen überbrücken und weniger durch die Abhebung der Sehnen von der Unterlage als durch ihre seitliche Bewegung gespannt werden, haben wir bereits gesprochen. Sie schließen sich proximalwärts an die tiefe Faszie des Unterschenkels an. Sie bilden mit dem Skelett osteofibröse Kanäle. Die in letzteren, unter Druck gegen die Wände hin- und hergleitenden Sehnen sind natürlich durch circumtendinöse Spalten von den Wänden getrennt. Wo sie unterhalb und oberhalb lockerer liegen, sind die Spalten gegen das lockere umgebende Gewebe durch Abschlußmembranen, welche von den Rändern des osteofibrösen Kanals zur Sehne gehen, abgeschlossen. Ihr Ansatz an der Sehne verschiebt sich mit letzterer proximal- und distalwärts.

Als Sehnenscheide ist korrekterweise nur die Wand des osteofibrösen Kanals mit den Abschlußmembranen zu bezeichnen. Die Sehne nebst der Flüssigkeitsfüllung der circumtendinösen Spalte bildet den Inhalt der Scheide.

β') Plantare Faszie der Zehen (Figg. 92, 93 und 98).

An den Zehen ist eine Trennung der Faszie in eine tiefe und eine oberflächliche nicht vorhanden. Jede Zehe hat bis in den Bereich des Metatarsophalangealgelenkes ihre besondere plantare Faszie. Sie deckt die langen Beugesehnen zu und heftet sich zu beiden Seiten derselben an den Skelettstrahl fest. An den vier äußeren Zehen sind bis zur vorletzten Phalanx je zwei solche Sehnen vorhanden, an der vorletzten Phalanx aller Zehen und am letzten Gelenk dagegen findet sich nur eine Sehne. Die plantare Zehenfaszie hält die Sehnen, welche sich bei plantarwärts eingekrümmten Zehen von der Unterlage ab-

heben, am Skelett zurück und wird dementsprechend in queren Linien gespannt und verstärkt.

Die stärkste Inanspruchnahme und demnach auch der stärkste Einfluß auf die Ausbildung der Querfaserung ist wohl bei der Beugestellung gegeben; die Querfasern, welche in Ebenen senkrecht zur Krümmung verlaufen, bilden in dieser Stellung eine völlig geschlossene Lage. Erfolgt nun Streckung, so klafft diese Faserlage an den Gelenkstellen. Es bilden sich an den Lücken nur dünne Abschlußmembranen gegen die circumtendinösen Spalten, die sich bei der Beugung falten. Sie wechseln mit gürtelförmigen Stücken der festen Faserung, welche den Phalangen und angrenzenden basalen Seitenbändern entsprechen. In den Rändern dieser Stücke laufen die Fasern schräg zu den Phalangen, in der Mitte quer. Die mittleren Fasern sind besonders kräftig, weil die Fasern hier am kürzesten sind, also (in der Beugung) im Verhältnis zur Länge am meisten gedehnt, also auch am meisten gespannt werden. Es kann vorkommen, daß schräge Randfasern von einer Seite aus dem distalen Rand eines Gürtelstückes in den proximalen schrägen Rand des gleichen Stückes auf der anderen Seite weiterlaufen und daß sich (oberflächliche) Schrägfasern in der Mitte des Stückes kreuzen. Auch im Bereiche der filzartig verdickten plantaren Kapselwand der Metatarsophalangealgelenke gehen noch Querfasern über die Sehnen hinüber, mit seitlicher Anheftung an den Rändern der Kapselverdickung. Seltener findet man Schrägfasern über den Gelenkbeugen. (S. auch Fig. 97.)

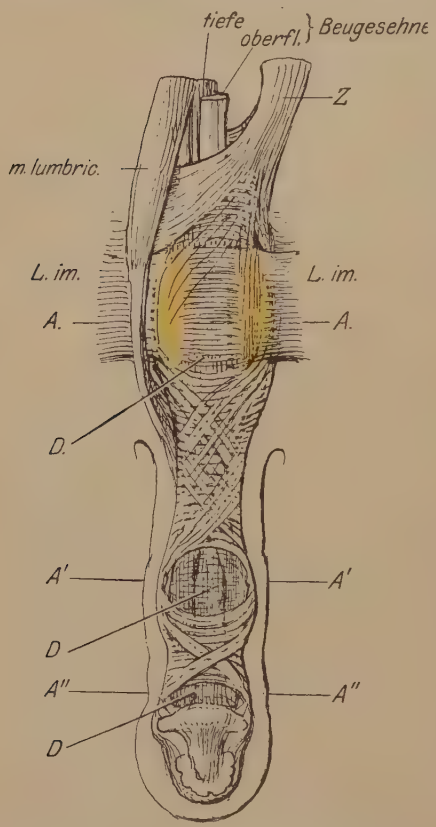


Fig. 91. Vagina fibrosa an den Zehen, halbschematisch. *Z.* Längszipfel der gemeinsamen oberflächlichen Plantarfaszie zu dem Metatarsophalangealgelenk und der Vagina fibrosa, *D, D, D* dünne Stellen der Vagina an den Gelenken, *A. A.* Achse des Metatarsophalangealgelenkes, *A'A'* und *A''A''* Achsen der Interphalangealgelenke, *L. im.* Ligg. intermetatarsalia (Ligg. capitulorum).

Die gesamte Faserung stellt die Vagina fibrosa dar. Die einzelnen Glieder derselben sind die Ligg. vaginalia. Zusammen mit dem Skelett bilden sie natürlich einen osteofibrösen Kanal, in welchem die Sehnen hin- und hergleiten. Die Weichteilschicht der Wand an der Skelettseite zusammen mit den Ligg. vaginalia, den Abschlußmembranen an den Gelenkstellen und der proximalen Abschlußmembran, welche sich von den Ligg. vaginalia zu den Sehnen hinüberspannen, stellt eine plantare Zehensehnenscheide dar. An den Phalangen ist die Weichteilschicht der Wand ein beträchtlich dickes Faserpolster.

Alle diese Verhältnisse kehren in analoger Weise bei den Fingern wieder, nur im allgemeinen viel schöner und klarer. An den Zehen sind die Dimensionen kleiner, namentlich aber ist die Verkrüppelung der Zehen durch beengendes Schuhwerk und die damit zusammenhängende Bewegungsbeschränkung der typischen Ausbildung der beschriebenen Fasersysteme hinderlich.

γ') Oberflächliche Faszie der gemeinsamen Fußsohle.

1. Längsfaserung mit Skelettanheftung an beiden Enden. An die Faszie des tiefen Muskelpolsters, welche durch die Kontraktionsverdickung der tiefen Muskeln wesentlich der Quere nach gespannt

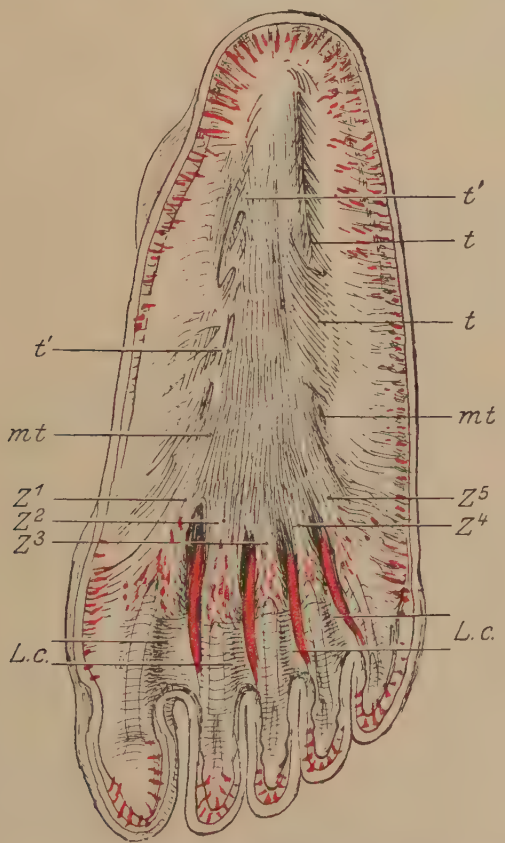


Fig. 92. Oberflächliche Plantarfaszie, halbschematisch. Die zur Haut abstrahlenden Fasern rot, *t*, *t* Abgangsstellen der tiefen tarsalen Pfeiler zum äußeren Fußrand, *t'* Abgangsstelle des tiefen tarsalen Pfeilers zum inneren Fußrand, *mt* Abgangsstellen der metatarsalen Tiefenpfeiler, $z^1 - z^5$ Längszipfel zu den Metatarsalgelenken und Vaginae fibrosae, *L. c.* Ligg. capitulorum. Lumbrikalmuskeln rot.

ist, zwischen den Untergruppen der Muskeln Pfeiler zum Skelett sendet und sich über den Abductoren bis zu den Längsrändern des Fußes und rückwärts bis zum Fersenhöcker fortsetzt, schließt sich die Eigenfaszie des zwischen die Abductoren eingeschobenen M. flexor digit. comm. brevis. Doch ist dieselbe in ihrem weiteren Verlauf dem Muskel entlang sehr unansehnlich. Dazu kommt nun aber eine an den Fersenhöckern entspringende Längsfaserung, welche hinten mit den an der Ferse entspringenden Muskeln verschmolzen ist, jederseits in der Faszie der Abductoren zu distal gelegenen Punkten der Seitenränder des Fußskelettes ausstrahlt, in der Mitte aber gegen die Zehen hin als besonderes Blatt weiter läuft. Es löst sich ungefähr am Ende des oberflächlichen Ursprungssehnenblattes des Flexor digit. comm. brevis von dem Muskel ab und bildet anfänglich eine zusammenhängende Lage von Längsfasern, trennt sich dann aber in einzelne Streifen, welche sich

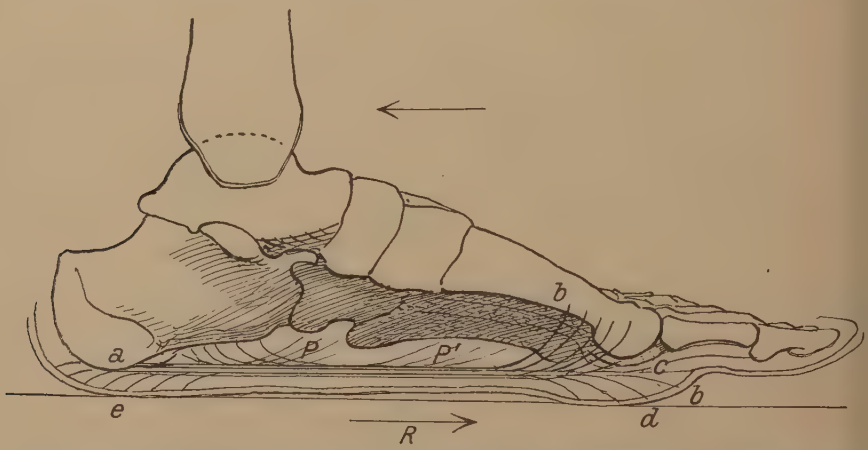


Fig. 93. Gemeinsame Plantarfaszie. Schema der Längsfaserung. *a* Faserursprung am Calcaneus, *P* und *P'* tarsale und metatarsale Tiefenpfeiler, *b*, *b* oberflächliche Fasern zu den Fußrändern, *c* Ausstrahlung zu den Metatarsophalangealgelenken, *d* Ausstrahlung zur Haut des gemeinsamen Zehenballens, *e* Ausstrahlung zur Haut der Ferse.

an den einzelnen Skelettstrahlen anheften, wo diese aus dem tiefen Muskelpolster auftauchen. Eine solche Anheftung ist nur seitlich von den an der Plantarseite der Strahlen entlang ziehenden Beugesehnen möglich unter Verschmelzung mit der besonderen plantaren Zehenfaszie an jedem Strahl. Die Anheftung der mittleren Faszienstreifen beginnt an den Schäften der Metatarsalia, wo sie von den kurzen Muskeln nicht mehr zugedeckt sind, und an den Seitenrändern der verdickten plantaren Kapselteile der Metatarsophalangealgelenke, so daß jederseits von den Beugesehnen ein Faszienpfeiler mit freiem, sichelförmigem, proximalem Rand gebildet wird. Die weitergehenden Fasern verschmelzen mit den Ligg. vaginalia der ersten Phalangen, wo sie sich

ebenfalls zu beiden Seiten der Beugesehnen anheften. Die Fasern zum ersten und fünften Strahl dringen jederseits vom Flexor digit. comm. sublimis schon früher in die Tiefe und erreichen, an den langen Beugesehnen der Randzehen vorbeigehend, namentlich seitlich von letzteren in größerer Ausdehnung das Metatarsale, wobei sie mit der tiefen Muskelfaszie verschmelzen.

Zu den an den Fersenhöckern entspringenden Fasern der genannten Längsfaserung gesellen sich solche, welche in der Plantarrinne zwischen den hier vom Unterschenkel zum Fuß verlaufenden Sehnen und an ihren Retinaculis entspringen, die Ligg. intermuscularia der an der Ferse entspringenden Muskeln und die tiefe Faszie der Adductoren verstärken und so die hinteren, tarsalen Pfeiler der Plantarfaszie bilden.

Die ganze hier geschilderte Längsfaserung wird in Anspruch genommen bei Veränderung der Form des Fußskelettes, insbesondere der Längsabplattung des Fußgewölbes. Sie leistet derselben Widerstand, auch wenn die kurzen und langen Strahlenmuskeln noch die Möglichkeit zur Verkürzung und zur Bewegung der Zehen haben.

Außerdem kommen in Betracht:

2. Querfasern, welche durch die Verbreiterung der Sohle (Spreizung der Metatarsalia und Abplattung des plantaren Muskelpolsters) angespannt werden und derselben Widerstand leisten. Sie finden sich namentlich im Bereich der nach den Zehen zu auseinandertretenden Streifen der Längsfaserung und im Niveau derselben deutlich ausgeprägt.

3. Fasern, welche aus der oberflächlichen Faszie proximalwärts, namentlich an der Ferse, oder distalwärts (namentlich im Bereich des gemeinsamen Zehenballens) oder auch nach der Seite hin zur Haut abstrahlen. Man kann sich vorstellen, daß sie durch Vermittlung des gemeinsamen Grundteils der Faszie mit ihren entgegengesetzten Enden irgendwo am Skelett entspringen. Die abstrahlenden Fasern durchsetzen den Panniculus adiposus und bilden in demselben ein anscheinend regelloses aber doch bestimmt architektonisch angeordnetes Leisten- und Fachwerk, in dessen Zwischenräumen Fettläppchen eingelagert sind. Die genaueren Verhältnisse müssen am Präparat studiert werden. An den Fersen ist die Faserung in der Tiefe zu queren Leisten zusammengedrängt. Besonders reichlich sind die Fasern, welche in den gemeinsamen Zehenballen einstrahlen. Es wird auf die genannte Weise ein druckfestes elastisches Polster gebildet. Zugleich verhindern die genannten Faserausstrahlungen, insofern sie die Enden von Längsfasern bilden, die ihren Rückhalt am anderen Ende am Skelett haben, daß sich die Haut nach der Seite der Ausstrahlung hin in erheblichem Maße verschiebt, sichern also ihren Zusammenhang mit der Unterlage. Man kann auch sagen, das distalwärts in den gemeinsamen Zehenballen ausstrahlende Fasersystem verhindere das Fußskelett, auf der Haut der dem Boden aufgesetzten Sohle, welche durch Reibung an der Unterlage festgehalten ist, rückwärts auszugleiten, was natürlich für die Möglichkeit der Vorbewegung des Körpers von der größten Bedeutung

ist. Rückwärts ausstrahlende Fasersysteme, wie sie im gemeinsamen Zehenballen ebenfalls, und wie sie namentlich an der Ferse vorkommen,

Fig. 94. Die oberflächliche Plantarfaszie mit ihren Ausstrahlungen zur Haut. Präparat der Berner anatomischen Sammlung.

hindern in analoger Weise das Ausgleiten des Skeletts auf der Sohlenhaut nach vorn usw.

4. Im Bereiche des gemeinsamen Zehenballens finden sich ganz oberflächliche, vorzugsweise querverlaufende Fasern, welche sich bei der Abflachung des fettdurchwirkten Polsters spannen. H. v. Meyer beschreibt diese Faserung als Lig. transversum subcutaneum, und zwar als einen Faserzug, der, ausgehend von einer Stelle des Außenrandes unter der Basis der fünften Zehe zu der Haut unter der Basis der großen Zehe und zu der Haut der Interdigitalsättel fächerartig ausstrahlt (H. v. Meyer, Statik und Mechanik, S. 68, Fig. 7).

5. Ganz besonders ausgeprägt ist eine oberflächliche Querfaserung in den Interdigitalsätteln, welche sich bei der Spreizung der Zehen spannt.

C. Präparation, Bau und Einrichtung der Fußgelenke.

α) Bemerkungen zur Präparation der Gelenke im allgemeinen und der Gelenke des Fußes im besonderen.

Im allgemeinen wird bei der Gelenkpräparation das intimere Verhalten der Muskeln (und auch der Faszien) zu den Gelenken zu wenig berücksichtigt. Man präpariert die Muskeln, studiert ihre Lage und ihre Form, ihre Gruppierung, ihren Ursprung und ihren Ansatz ohne nähere Berücksichtigung der Gelenke. Darauf werden die Muskeln und Sehnen so rasch und so gründlich als möglich entfernt und es werden nun reine Gelenkbänder- und Gelenkkapselpräparate hergestellt, an denen von den Muskeln keine Spur mehr zu sehen ist. Solche Präparate haben ja wohl ihren Wert. Was aber von ganz besonderer Bedeutung ist, die genaue Kenntnis der näheren topographischen Verhältnisse der Muskeln bei den verschiedenen Gelenkstellungen, und ihrer anatomischen Beziehungen zur Gelenkkapsel, kann auf diese Weise nicht gründlich genug studiert werden. Das ist nur möglich, wenn die Muskeln an einem Gelenk sukzessive durchschnitten, zurückgeklappt und bis zum Gelenk verfolgt und nur teilweise entfernt und gekürzt werden, so daß deutlich erkennbare Stümpfe am Gelenk erhalten bleiben; zwischen ihnen aber soll die Gelenkkapsel mit ihren Bändern nach Möglichkeit vollkommen auspräpariert werden. Ein solches Präparat darf nicht sofort nach seiner Herstellung durch vollständige Entfernung der Muskelenden und Sehnen zerstört werden, sondern muß Hauptobjekt der Untersuchung sein. Die Bewegungen im Gelenk lassen sich an demselben ungehindert ausführen und deutlich übersehen. An ihm hauptsächlich hat man die Einwirkung der Muskeln auf das Gelenk zu studieren. Erst wenn dies geschehen ist, sollen, wo dies nötig ist, zur Freilegung wichtiger Bänder die Reste der Muskeln vollständig entfernt werden.

Im allgemeinen ist es vorteilhaft, wenn zwei Präparanten bei der Gelenkpräparation zusammen arbeiten. Abwechselnd führt der eine Messer und Pinzette usw., der andere assistiert und fixiert die Skeletteile in der geeigneten Stellung. Indem der letztere die Arbeit des ersten aufmerksam verfolgt, lebt er sich in seinen Gedankengang ein und erät meist im voraus, was für ihn zu tun notwendig ist. Die Kunst, gut zu assistieren, ist fast ebenso wichtig, wie das Präparieren, und will auch gelernt sein.

Wo ein Präparant auf sich allein angewiesen ist, wird er oft genötigt sein, sich nach künstlichen Hilfsmitteln zu Fixierung der Gelenkteile umzusehen.

Schraubstock, Stative mit Klammern, geeignet untergelegte Blöcke, kleine Brettchen zum Einschieben zwischen die Zehen, Metallspitzen mit Holzgriff zum Anpflöcken einzelner Teile, Faden und Schnur zum Festbinden, das alles kann im gegebenen Falle nützlich sein; es ist hier für die Findigkeit des Präparanten ein weiter Spielraum gelassen, ebenso wie für eine möglichst vielseitige Ausstattung der Präpariersaaleinrichtung. Zum Bemalen der Ansatzlinien oder größerer Flächen, z. B. der dünnen Stellen der Gelenkkapsel, bedient man sich eines Holzstiftchens (Streichholz), mit welchem man aus befeuchteter farbiger Kreide Farbstoff aufnimmt und auf das Präparat überträgt. Es ist auffällig, wie durch solche Bemalung die Übersichtlichkeit des Präparates gewinnt. Zuletzt können die dünnen, mechanisch weniger wichtigen Teile der Kapsel entfernt werden. Das gründliche Studium eines solchen bemalten, noch unvollkommen eröffneten Präparates kann nicht dringend genug empfohlen werden. Die weite Eröffnung und Zerlegung des Gelenkes, die vom Studierenden gewöhnlich viel zu früh vorgenommen wird, zerstört unwiederbringlich den bewegungsbeschränkenden Zusammenhang eines solchen wertvollen Modells. Sie zeigt meist als Neues nur anatomische Details mit Bezug auf die Beschaffenheit des Knorpelüberzuges, auf das Vorhandensein von Gelenkfortsätzen und Gelenkzotten, läßt Verschiedenheiten konstatieren bezüglich der Ausdehnung und Krümmung der Gelenkflächen u. dgl. Diese Zerlegung ist deshalb so lang als möglich hinauszuschieben.

Was speziell den Gang der Präparation bei den Gelenken des Unterschenkels und Fußes betrifft, so beginnt man am besten mit den Interphalangealgelenken, weil sie die einfachsten Verhältnisse darbieten und weil hier die Gefahr des Eintrocknens am größten ist. Darauf folgt, nach genauester Präparation der kurzen Muskeln der Strahlen, die Präparation und Untersuchung der Metatarsophalangealgelenke nach den oben betonten Gesichtspunkten. Vor der Durchschneidung und Entfernung der Streck- und Beugesehnen der Zehen ist natürlich ihr Verhalten zu den genannten Gelenken zu studieren.

Ebenso müssen rechtzeitig die Beziehungen der am Fersenbein entspringenden kurzen Muskeln des Fußes zu der Articulatio calcaneo-cuboidea ins Auge gefaßt werden. Eine besondere Aufmerksamkeit ist nunmehr der Sprungbeingegend und dem Verhalten der an ihm vorbeiziehenden Sehnen zuzuwenden. Hierauf mag man alle kurzen Muskeln sorgfältig entfernen und den ganzen Bandapparat des Tarsus im Zusammenhang präparieren. Dabei sind aber die Anheftungsverhältnisse der beiden Mm. tibiales und der Peronei und ihr Verhalten bei der Bewegung in den Sprunggelenken und im Calcaneokuboidgelenk zu berücksichtigen; andererseits sind die dünnen Stellen der Gelenkkapseln sorgfältig zu schonen.

An die genaue Untersuchung der Bänder der subtalaren Fußplatte schließt sich diejenige der drei Sprunggelenke, die möglichst im Zusammenhang miteinander studiert werden müssen. Den Beschluß macht die Untersuchung der Tibiofibulargelenke und der Membrana interossea des Unterschenkels.

Einige weitere Winke über die Präparation der einzelnen Gelenke sollen im folgenden noch gegeben werden.

β) Die Interphalangealgelenke.

Vergleichbar unter sich sind einmal die ersten Interphalangealgelenke der vier äußeren Zehen, sodann die sämtlichen Endgelenke. Alle sind reine Ginglymi mit typischen Seitenbändern. Sie erlauben in der Regel Dorsalbewegung nur bis zur Streckstellung. Die Plantarbewegung ist an den Endgelenken höchstens bis zur rechtwinkligen Beugung, an den proximalen Gelenken nur wenig über den rechten Winkel hinaus möglich. Die Gelenkspalte liegt distal von der Drehungsachse. Der proximale Gelenkkörper ist also konvex, mit annähernd zylindrischer, nur andeutungsweise rollenartig gehöhlter Gelenkfläche; der distale

Gelenkkörper bildet die Pfanne. Am Interphalangealgelenk der ersten Zehe ist die Rolleneinsattelung am deutlichsten ausgeprägt.

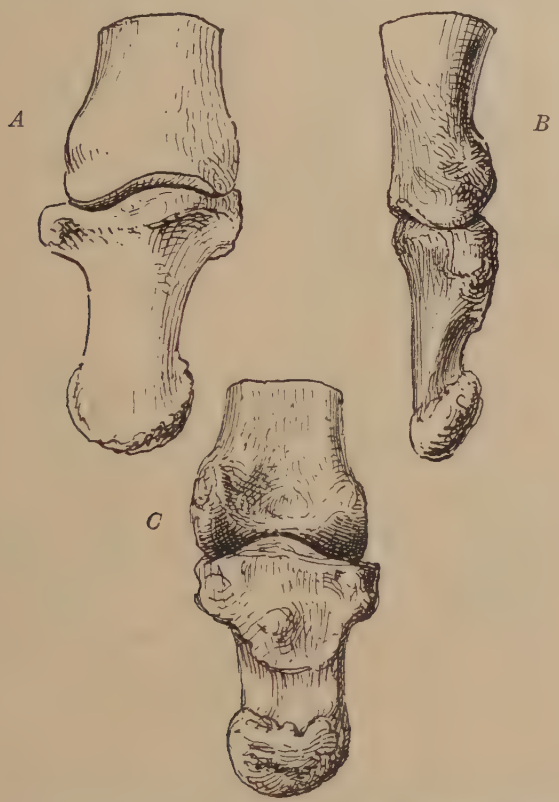


Fig. 95. Interphalangealgelenk der r. großen Zehe (weiblicher Fuß). *A* Dorsalansicht, *B* Ansicht von innen, *C* Plantarseite.

γ) Die Metatarsophalangealgelenke.

Leicht erkennt man am Lebenden, daß es sich hier im wesentlichen um Gelenke handeln muß, welche Plantar- und Dorsalbewegung um bilaterale quere Achsen zulassen, aber außerdem in gewissen Stellungen nicht unerhebliche seitliche Bewegungen gestatten. Das Studium der Gelenkkörper am mazerierten Skelett (s. Fig. 96) gibt näheren Aufschluß über Kopf und Pfanne, über die Gestalt und Ausdehnung der Gelenkflächen etc. Am Bänderpräparat finden wir die Gelenke an der Dorsalseite von der Strecksehne bedeckt. Wir präparieren und durchschneiden sie und suchen ihre Beziehungen zu der Kapsel zu ermitteln. An der Plantarseite sehen wir die Skelettstrahlen am Grunde der Vagina fibrosa, unter den Beugesehnen, zwischen den in die Tiefe sinkenden

kurzen Strahlenmuskeln, entsprechend den Metatarsalköpfchen und Metatarsophalangealgelenken mit stärkerer plantarer Vorwölbung vortreten. Es fällt hier vor allem eine eigentümliche schwartige Verdickung der plantaren Kapselwand auf (Basalplatte). Der proximale Teil der plantaren Kapselwand bleibt von dieser Verdickung frei (Figg. 91 u. 97).

Die Entwicklung der Basalplatte in der plantaren Kapselwand der Metatarsophalangealgelenke steht vor allem im Zusammenhang mit dem Umstand, daß hier die langen Beugesehnen durch die Metatarsalköpfchen und die plantare Kapselwand unten gehalten sind, während sie jenseits des Gelenkes unter der ersten Phalanx meist nach vorn etwas aufsteigen. Sie drücken also, während sie am Gelenk hin- und hergleiten, nach oben gegen die Kapselwand und die Metatarsalköpfchen, nach Maßgabe ihrer Spannung und des Betrages der Um-

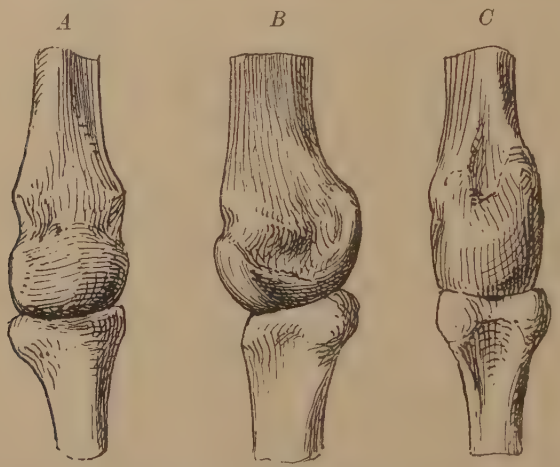


Fig. 96. Ein mittleres Metatarsophalangealgelenk (r. weibl. Fuß). *A* Dorsalseite, *B* Innenseite, *C* Plantarseite.

biegung. Beim Stand auf der Sohle oder auf dem gemeinsamen Zehenballen lastet außerdem ein Teil des Körpergewichtes auf den zwischen Metatarsalköpfchen und Unterlage eingeklemmten Kapsel- und Sehnenteilen. Die vom Druck betroffenen Sehnenteile sind nicht immer dieselben. Weniger wechseln die vom Druck betroffenen Stellen in den Kapseln; wir finden sie filzartig verdickt; auch zeigen sie stellenweise knorplige, ja selbst knöcherne Einlagerungen (Sesamknorpel oder -knochen).

Der auch bei der Dorsalstellung der Zehe unter der plantaren Ausladung des Köpfchens verbleibende proximale Teil der Kapsel bleibt von dieser Kompression und Verdickung frei. Die verdickte Partie erscheint wie ein Anhängsel der Pfanne, das aber der letzteren gegenüber seine Stellung etwas ändern kann. Sie bildet eine geeignete Anheftungsstelle dar für die Faszie und erfährt deshalb von den Rändern aus Zugbeanspruchung. Es treffen sich in ihr zusammen:

a) Querfasern aus der Fascia interossea (Ligg. capitulorum);

b) Querfasern, welche dem Zug der Ursprungsportionen des queren Kopfes des Adductor hallucis entsprechen;

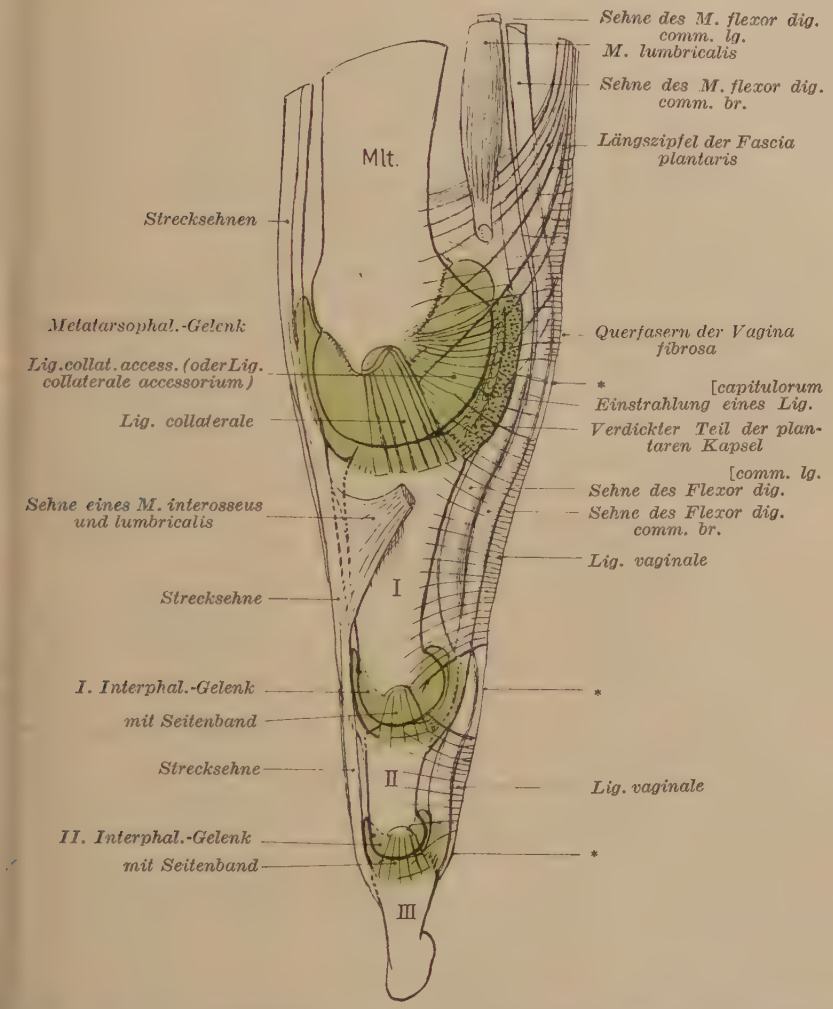


Fig. 97. Ein mittlerer Fußstrahl mit seinen Gelenkkapseln, Bändern und Sehnen der plantaren Faszie, von der Seite gesehen, in schematischer Darstellung. *, *, * dünne Stellen der Vagina fibrosa.

c) jederseits in Form eines Tiefenpfeilers Längsfasern aus den Sehnenzipfeln der Fascia plantaris;

d) proximalste Querfasern der Vagina fibrosa.

Endlich ist am ersten und fünften Metatarsophalangealgelenk, manchmal aber auch an anderen Zehen, die basale Platte zugleich Insertionsstelle und Fortsetzung der Sehnen der kurzen Muskeln.

1. Das erste Metatarsophalangealgelenk.

Das Grundgelenk der großen Zehe kann am besten als eine Ginglymo-Arthrodie, als ein Mittelding zwischen einem Kugelgelenk und einem Ginglymus bezeichnet werden. Das Metatarsale bildet dabei den Kopf, die Grundphalanx die Pfanne. Die Hauptkrümmung der Gelenkflächen geht vom Dorsum zur Planta. Undeutliche seitliche Verstärkungen der Kapsel sind vorhanden, die aber näher dem dorsalen Teil der dorsoplantaren Krümmung entspringen. So erschlaffen diese

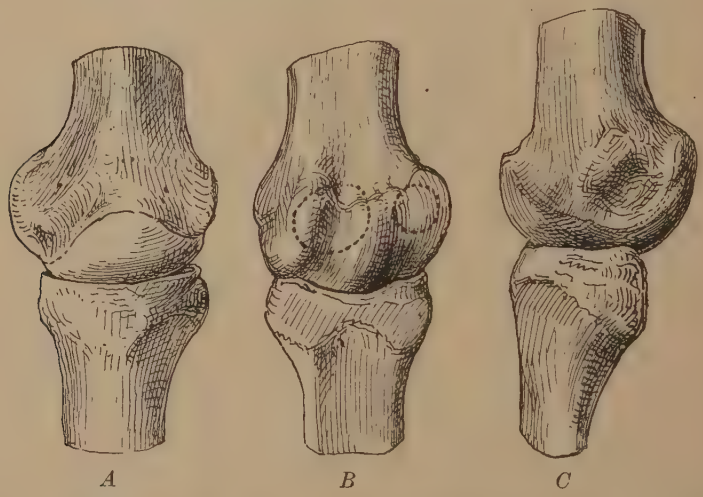


Fig. 98. Gelenkkörper des ersten Metatarsophalangealgelenkes. *A* Dorsalseite, *B* Plantarseite, *C* Innenseite.

Seitenbänder in den Mittel- und Dorsalstellungen, in welchen eine schmalere Knochenschicht zwischen ihren Ursprüngen und Ansätzen gelegen ist.

Dementsprechend und wegen einer an den dorsalen und mittleren Teilen der Kopfgelenkfläche deutlicher ausgeprägten Konvexität, die von einer Seite zur anderen geht, sind in den Mittel- und Dorsalstellungen neben den Dorsal- und Plantarbewegungen auch seitliche, ab- und adduktorische Bewegungen der ersten Phalanx möglich. Zur Herbeiführung derselben stehen in den genannten Stellungen die nötigen Muskelkräfte zur Verfügung. Dagegen fehlt in denselben der Einfluß zur aktiven Längsrotation so gut wie ganz (auch in der Dorsalstellung verlaufen die Enden der seitlichen Muskeln wesentlich in der Längsrichtung

er Grundphalanx). Äußere Kräfte aber, welche in Dorsalstellungen er Zehe, z. B. beim Zehenstand, längsrotierend einwirken oder die Zehe esthalten, während das Metatarsale die entsprechende Gegenbewegung usführt, kommen kaum in Betracht. Es kann sich wohl das erste Metatarsale nach innen oder außen neigen, die Ferse kann nach innen der außen gehen, aber die Zehe dreht sich dann fast ungehindert um ire Längsachse mit, resp. wälzt sich auf ihrer Unterlage nach innen der außen. Die Basalplatte mit ihren seitlichen Verbindungen und irer Anlagerung an die im ganzen abgeplattete Plantarseite des Metatarsalköpfchens möchte wohl in erster Linie einer längsrotatorischen Bewegung der Zehe im Gelenk hinderlich sein.

Nach der plantaren Seite hin treten an der Kopfgelenkfläche Seitenkanten schärfer hervor. Auch sind plantarerseits meist zwei Führungsrinnen und drei Führungswülste, von denen der mittlere deutlicher ausgeprägt ist, nachweisbar. Auf ihnen schleift die mächtige basale Platte, welche in der Regel zwei Sesambeine eingelagert sind (siehe Fig. 98).

Der mediale Teil der Basalplatte mit seinem Sesambein entspricht wesentlich der Verschmelzung der Kapsel mit den Endsehnen des Abductor hallucis und des medialen Kopfes des Flexor brevis; der laterale Teil aber mit dem lateralen Sesambein entspricht ihrer Verschmelzung mit den Endsehnen des Adductor hallucis und des lateralen Kopfes des Flexor brevis.

2. Die übrigen Metatarsophalangealgelenke.

Bei der Zerteilung der Basalplatte findet man auch in diesen Gelenken mitunter Sesambeine. Am fünften Metatarsophalangealgelenk konstatierte Pfitzner in 6,2% der Fälle ein laterales, in 5,5% der Fälle ein mediales Sesambein. In 1,8% der Fälle fand er ein (mediales) Sesambein auch am Grundgelenk der zweiten Zehe. An den Metatarsophalangealgelenken des 2.—5. Strahles liegen bezüglich der Art der Gelenkbewegungen und des Charakters der Gelenke ähnliche Verhältnisse vor, wie sie sich am ersten Metatarsophalangealgelenk finden. Nur tritt der Ginglymuscharakter am 5. Metatarsophalangealgelenk und noch mehr an den mittleren Gelenken noch deutlicher hervor. Die doppelte Krümmung der Gelenkfläche des Kopfes ist auf einen kleineren, dorsalsten Bezirk eingeschränkt, der plantare Teil des Kopfes ist deutlicher und in größerem Umfang walzenähnlich zugeschnitten. Die Gelenkfläche läuft hier proximalwärts auf zwei Wülsten weiter, die durch einen Einschnitt in die Köpfchenvorragung gebildet sind (Fig. 96 C). Die Seitenbänder sind besser ausgeprägt, ebenso wie ihr Ursprung näher dem dorsalsten Teil der Gelenkfläche. Auch diese Gelenke alle sind **Ginglymo-Arthrodien**.

Man wird wohl annehmen dürfen, daß für die Ausbildung der charakteristischen Krümmung der Gelenkfläche und für die Eigentümlichkeit der Seitenbänder, in Mittel- und Dorsalstellungen zu erschlaffen, in erster Linie die Wirksamkeit der Muskeln bestimmend war. In der Plantarstellung fehlen ab- und adduktorische Krafteinwirkungen. Die

geringe längsrotierende Einwirkung der kurzen Muskeln aber vermag hier gegenüber der Spannung der Muskeln der Plantar- und Dorsalbewegung, welche die Längsrotation hindert, nicht aufzukommen.

δ) Gelenke und Bänder am Lisfranc und Vordertarsus.

1. Gelenkspalten und Gelenkflächen. (Fig. 99.)

Auf den charakteristischen Verlauf der Lisfrancschen Amputationsfläche zwischen Tarsus und Metatarsus wurde bereits hingewiesen. Das III. und namentlich das I. Keilbein ragen in derselben distalwärts vor. Tarsus und Metatarsalia sind nicht im ganzen Bereich voneinander durch eine kontinuierliche Gelenkspalte getrennt. Die offene Spalte ist vielmehr unterbrochen durch eine gewebliche Verbindung zwischen dem III. Keilbein und der Basis des IV. Metatarsale an der Stelle, wo sie seitlich aneinanderstoßen (auch der proximale laterale Rand der III. Metatarsalbasis kann in diese Verbindung plantarerseits noch einbezogen sein), ferner durch eine Verbindung zwischen dem I. Keilbein und der Basis des II. Metatarsale. Der Zusammenhang ist also gerade da erhalten, wo die Basen von Metatarsalia außen an Elementen des Vordertarsus proximalwärts ragen. Es sind demnach drei voneinander getrennte Gelenkspalten am Lisfranc zu unterscheiden. Eine mediale zwischen dem I. Keilbein und dem I. Metatarsale (mediales Tarsometatarsalgelenk), eine mittlere zwischen dem II. und III. Keilbein und dem II. und III. Metatarsale (mittleres Tarsometatarsalgelenk) und eine laterale zwischen dem Kuboid und dem IV. und V. Metatarsale (laterales Tarsometatarsalgelenk).

Distale Nebenspalten. Von der queren Gelenkspalte zwischen dem I. Keilbein und dem I. Metatarsale geht mitunter, vom mittleren Teil ihres Außenrandes aus oder näher dem Plantarrand eine kleine, distalwärts gerichtete Nebenspalte ab und dringt in die Berührungsstelle zwischen den Basen des I. und II. Metatarsale hinein. Vom mittleren Gelenk aus zweigt distalwärts eine ganz kleine Nebenspalte ab in die Berührungsstelle der medialen dorsalen Ecke der II. Metatarsalbasis mit dem I. Keilbein; ferner dringen umfänglichere distale Nebenspalten zwischen die Basen des II. und III. Keilbeins und des III. und IV. Metatarsale hinein. Vom lateralen Gelenk aus erstreckt sich eine distale Nebenspalte zwischen die Basen des IV. und V. Metatarsale.

Bei den Gelenkspalten und Gelenkflächen an den Seiten der Metatarsalbasen ist folgendes zu beachten: Die Basis des I. Metatarsale zeigt an ihrer Außenseite zunächst der Mitte des proximalen Randes häufig eine kleine Gelenkfläche für das Metatarsale II. Ihr entspricht eine Gelenkfläche an der Innenseite der Basis des II. Metatarsale, welche aber von deren proximalen Rand abgerückt ist und der Plantarseite des Knochens nahesteht. Innen an der medialen dorsalen Ecke der II. Metatarsalbasis findet sich die kleine Gelenkfläche für das I. Keilbein. Die Außenseite der Basis des II. Metatarsale ist durch einen Längseinschnitt (für ein Lig. interosseum, s. u.) in zwei Wülste getrennt. Jeder derselben trägt eine distale und eine proximale Gelenkfacette, erstere für das III. Metatarsale, letztere für

as III. Keilbein. Die distalen Facetten sind größer als die proximalen, die dor-
alen größer als die plantaren. Relativ große seitliche Gelenkflächen finden sich
orsal an den einander zugewendeten Seiten der Basen des III., IV. und V. Meta-
arsale. Diejenige an der Innenseite des IV. Metatarsale ist von dem proximalen
and der letzteren etwas entfernt.

Proximale Nebenspalten. Andererseits gehen proximalwärts, wischen die vier angrenzenden Tarsuselemente vom mittleren und vom ateralen Tarsometatarsalgelenk aus Nebenspalten nur auf ganz unedeutende Strecken weit hinein; sie erreichen nicht die umfänglicheren, wischen den proximalen Teilen dieser Elemente gelegenen longitudialen Gelenkspalten, außer zwischen dem I. und II. Keilbein, wo auf iese Weise eine Kommunikation zwischen dem mittleren Tarsometaarsalgelenk und dem Cuneo-Navikulargelenk hergestellt ist.

Cuneo-Navikulargelenk. Die Hauptgelenkspalte des letztenannten Gelenkes verläuft quer im Tarsus zwischen den proximalen ndflächen der drei Keilbeine und dem Naviculare. Regelmäßig komunizieren damit die longitudinalen Gelenkspalten zwischen den proxialen Teilen der drei Keilbeine und gewöhnlich auch die (selten fehlende) ngitudinale Gelenkspalte zwischen dem III. Keilbein und dem Kuboid. n 70% der Fälle (R. Fick) ist auch eine longitudinale Gelenkspalte wischen dem distalen Teil der nach außen unten zum Kuboid zugewenteten Randfläche des Navikulare und dem Kuboid vorhanden, die benfalls in der Regel als (proximale) Nebenspalte mit der Cuneo-Navikulargelenkspalte kommuniziert. (Doch können die beiden genannten palten an der Innenseite des Kuboides auch vom Cuneo-Navikularpalt getrennt sein. Wenn solches bei beiden der Fall ist, so können ie doch noch unter sich kommunizieren.)

Die proximale Gelenkspalte zwischen dem I. und dem II. Keilein verläuft in Gestalt eines zweischenkligen Winkelmaßes entlang dem roximalen und dem dorsalen Rand der Zwischenzone. Die proximale elenkspalte zwischen dem II. und III. Keilbein ist auf eine schmale trecke des proximalen Randes der Zwischenzone beschränkt.

Wo im Gebiete des Vordertarsus und Lisfranc Gelenkspalten zwischen en aneinandergrenzenden Knochen fehlen, sind die Zwischenräume in er Dicke der Skelettplatte durch Ligamenta interossea, stellenweise auch durch lockeres, fetthaltiges Gewebe ausgefüllt. Wo letzteres n die Gelenkspalten angrenzt, sind natürlich besondere Abschlußmembranen (Gelenkkapseln) vorhanden.

An das Gewebe der Zwischenzonen schließen sich die plantaren nd dorsalen Kapseln und Bänder an. An den Seitenrändern des Vordertarsus und Lisfranc und da, wo die Metatarsalia zur Bildung er Spatia intermetatarsalia auseinanderrücken, schließen sich die plantaren und dorsalen Kapseln und Bänder zusammen, ohne daß im allgemeinen eine scharfe Abgrenzung oder die Abtrennung und Unterscheidung besonderer marginaler Bänder möglich wäre. Oberflächliche Faserzüge des mächtigen dorsalen und plantaren Bandapparates ziehen stellenweise über mehr als eine Fuge hinüber.

2. Ligamenta interossea des Vordertarsus und der Lisfrancschen Zone.

Trennt man mit glattem Schnitt die Fugen zwischen den Elementen des Vordertarsus und der Lisfrancgegend und präpariert sorgfältig die Reste der Zwischenzonen, indem man das lockere, fett- und gefäßhaltige Gewebe entfernt, so bleiben nur wenige stärkere Zwischenknochenbänder übrig, welche im wesentlichen distalwärts nach dem III. Keilbein und III. Metatarsale konvergieren.

Wir finden:

1. Ein dickes starkes Band, das am Kuboid plantar vor der Mitte der medialen Gelenkfläche entspringt, im ganzen nach vorn aufsteigt und in mehreren starken, divergierenden Bündeln vor der entsprechenden Gelenkfläche des Kuboides fast in der ganzen Höhe der Seitenfläche des III. Keilbeins inseriert. Ein schmaler Zipfel endet unter der lateralen akzessorischen Gelenkfläche des III. Metatarsale (Fig. 99, 1 und 1a).

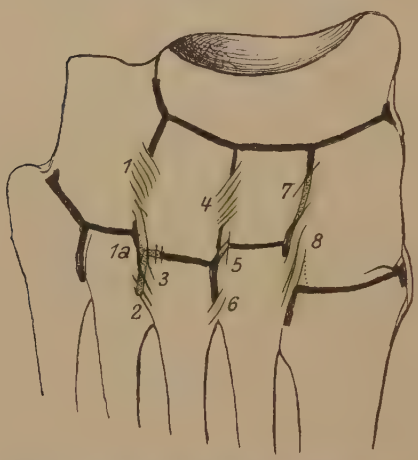


Fig. 99. Ligg. interossea am Lisfranc und Vordertarsus.

2. Ein schlankes, kurzes Band, das unter den seitlichen Gelenkflächen von der Basis des IV. zur Basis des III. Metatarsale verläuft (Fig. 99, 2).

3. Es kann der Außenrand der queren Gelenkspalte zwischen dem III. Keilbein und dem III. Metatarsale im unteren Teil durch ein kurzes Außenband zwischen diesen Knochen abgeschlossen sein, während oben die Gelenkspalte sich zwischen das III. und IV. Metatarsale distalwärts fortsetzt.

4. An der lateralen Seite des II. Keilbeins entspringt ein recht ansehnliches Band unmittelbar vor dem dorsalen Teil der seitlichen Gelenkfläche und zieht etwas absteigend zu einem wenig weiter nach vorn gelegenen Felde der Innenseite des III. Keilbeins.

5. Ein schlankes, kurzes Band überspringt den Außenrand der queren Gelenkspalte zwischen dem II. Keilbein und II. Metatarsale, so daß nach oben und unten davon eine Kommunikation mit den außen neben den beiden Knochen gelegenen Spalten besteht.

6. Ein ebenso schlankes, wenig längeres Band entspringt jenseits des Ansatzes der zuletzt beschriebenen in dem Einschnitt zwischen den beiden äußeren Gelenkflächen der II. Metatarsalbasis; es endet am distalen Rand der Gelenkfläche an der medialen Seite der III. Metatarsalbasis.

7. Hinter der Mitte der Außenseite des I. Keilbeins entspringt ein ansehnliches rundliches Band, das aufsteigend zu einer vor und über der Mitte der Innenfläche des II. Keilbeins gelegenen Stelle geht.

8. Ein sehr mächtiges Band entspringt unmittelbar vor ihm in einem mittleren Feld der Außenseite des ersten Keilbeins und endet aufgeblättert an der Außenseite der Basis des II. Metatarsale (in dem Feld hinter dem Höcker, der die akzessorische Gelenkfläche tragen kann). In Fig. 99 sind diese Bänder schematisiert eingetragen.

9. Endlich muß noch das Lig. interosseum zwischen Kuboid und Naviculare berücksichtigt werden.

Die Beschreibung der Ligg. interossea, welche R. Fick gegeben at, ist insofern unrichtig, als nach ihr diese Ligamente annähernd uer verlaufen. H. v. Meyer hat dagegen die Konvergenz der Ligg. nterossea des Vordertarsus und Lisfranc richtig gekennzeichnet. Dagegen verlaufen sie durchaus nicht so regelmäßig vorwärts und auf-ärts, wie dieser Autor angibt. Nur die Bänder vom I. zum II. Keil-ein und vom Kuboid zum III. Keilbein sind deutlich distalwärts auf-eigend. Dagegen hat das Band vom II. zum III. Keilbein einen vor-ärts absteigenden Verlauf. Die übrigen Ligg. interossea verlaufen n wesentlichen longitudinal. H. v. Meyer meint, daß alle diese Ligg. nterossea das Grundgewölbe des Fußes festigen helfen, das nach ihm urch den Calcaneus, das Kuboid, das III. Keilbein und das III. Meta-arsale dargestellt wird, und ebenso auch den oberen, das Gewölbe pannenden Hilfsbogen, welcher durch den Talus und das I. und II. Keil-ein gebildet ist.

Mir scheint, daß die äußeren Ligg. interossea, nämlich das ateral vom III. Keilbein zum III. Metatarsale ziehende Band und die om Kuboid zum III. Keilbein und in einem schwachen Streifen zum II. Metatarsale gehenden Bänder namentlich in Funktion treten beim tand auf dem äußeren Fußrand (insbesondere bei Erhebung der Ferse nd gleichzeitiger Supination), wenn der Fuß über den äußeren Fuß-and durchgebogen wird, während vom Calcaneus und Talus her das Naviculare mit den Keilbeinen und inneren Metatarsalia distalwärts edrängt wird.

Die inneren Ligg. interossea aber, welche distalwärts und ateralwärts ziehen, werden namentlich angespannt beim Stand auf der roßen Zehe (insbesondere wenn er mit Erhebung der Ferse und Prona-ion verbunden ist). Es wird dann der Fuß in seiner Hauptebene über en inneren Fußrand einwärts gebogen und in der Linie Calcaneus—Talus—Naviculare—I. Keilbein—I. Metatarsale gespannt, während das Naviculare außen nach vorn drängt; die zwei anderen Keilbeine und ihre Metatarsalia werden je gegen ihre inneren Nachbarn nach vorn geschoben.

Man wird annehmen müssen, daß beim Stand auf der großen Zehe das III. Keilbein mit seiner Verschiebung nach vorn am II. Keil-ein auch zugleich plantarwärts gedrängt werden kann, vielleicht in Folge der engeren Verbindung mit dem Calcaneus und dem Kuboid. So würde der vorwärts absteigende Verlauf des vom II. zum III. Keil-ein gehenden Lig. interosseum verständlich sein.

Das Lig. interosseum zwischen Kuboid und Naviculare nimmt den hinteren Teil der Fuge zwischen den beiden Skelettstücken ein.

3. Dorsale Bänder des Lisfranc (Fig. 100).

Im allgemeinen gehen zu jeder Metatarsalbasis nach vorn konvergierend dorsale Bänder von allen hinten und seitlich anstoßenden Elementen, je mindestens eines über jede Fuge hinüber.

Zur Basis des V. Metatarsale sehen wir namentlich ein starkes Randband und ein breites dorsales Band vom Kuboid aus hinziehen.

Von der Basis des IV. Metatarsale ziehen zu derjenigen des V. distal an der Gelenkstelle in der Tiefe einige Züge, welche von dem dorsalen Band, das vom V. Metatarsus zum IV. distalwärts verläuft (s. u.), zugedeckt werden.

Diese Bänder hemmen die Bewegung der V. Metatarsalbasis gegenüber den anstoßenden Elementen. Diese Bewegung kann als Parallelbewegung erfolgen, oder mit stärkerer Verschiebung des Außenrandes oder der distalen Teile verbunden sein. Im letzteren Falle (Plantarflexion) bewegt sich das hinterste Ende in umgekehrter Richtung. Die Drehung erfolgt also um eine unmittelbar vor dem Höcker gelegene quere Achse.

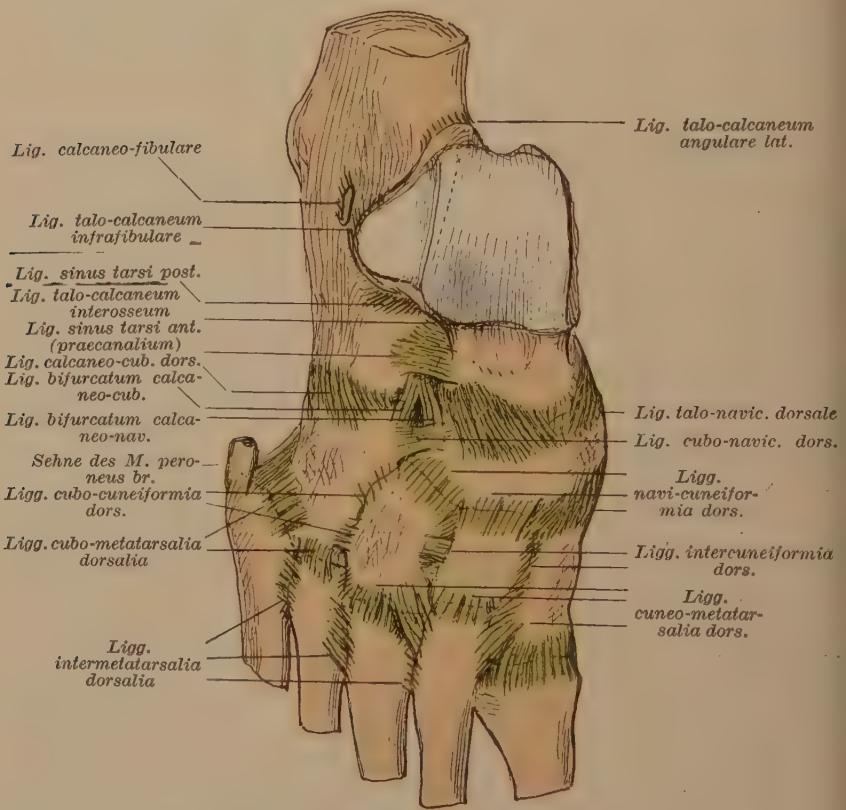


Fig. 100. Dorsale Bänder des Tarsus.

Auch bei der Plantar- und Dorsalflexion des IV. Metatarsale liegt die Achse der Drehung vor dem hintersten Ende, neben der Basis des III. Metatarsale; bei den inneren Metatarsalia bewegen sich dagegen die hintersten Teile immer noch im gleichen Sinn wie die Köpfchen.

Zur Basis des IV. Metatarsale sehen wir namentlich vom Kuboid und von der Basis des V. Metatarsale her je ein Band gerade resp. schräg distalwärts verlaufen. Ein kleiner Zug kann auch vom III. Keilbein

kommen, und allenfalls finden sich in der Tiefe distal ebendahin gehende Fasern vom III. Metatarsale.

Zur Basis des III. Metatarsale verlaufen Bandzüge vom III. Keilbein und vom IV. und II. Metatarsale.

Zur Basis des II. Metatarsale gehen Bandzüge vom II. Keilbein, vom III. und I. Keilbein und vom III. Metatarsale.

Wo die genannten Bänder sich überkreuzen, decken gewöhnlich die inneren die äußeren.

Am I. Metatarsale fehlen starke, von der Basis des II. Metatarsale kommende Bänder an der dorsalen Seite. Die plantaren, von den Keilbeinen kommenden Bänder greifen an der Außenseite der Basis weit hinauf.

Dorsal vom akzessorischen Nebengelenk sind Faserzüge vorhanden, welche vom I. Keilbein und der I. Metatarsalbasis distalwärts zur Basis des II. Metatarsale verlaufen.

Besonders gut entwickelt sind die dorsal und medial an dem Gelenk zwischen I. Keilbein und I. Metatarsale befindlichen Faserlagen. Am medialen Rand, vor dem Ansatz des Tibialis ant. ist neben tieferen, nach vorn absteigenden Fasern, welche zum Teil von jener Sehne stammen, ein breites, marginales, nach vorn divergierendes Band vorhanden.

Die seitliche Ablenkung des I. Metatarsale ist bei seiner Plantarstellung weniger ausgiebig möglich als bei mittlerer und dorsaler Stellung.

4. Dorsale Bänder zwischen den Elementen des Vordertarsus (Fig. 100).

Dorsale Bänder zwischen den Keilbeinen.

Wir unterscheiden:

Ein schräg distalwärts vom I. zum II. Keilbein verlaufendes Band.

Ein weniger schräg distalwärts vom II. zum III. Keilbein verlaufendes Band.

Ein vom III. Keilbein zum Kuboid divergierend verlaufendes Band, dessen vordere Fasern annähernd quer oder etwas vorwärts lateralwärts ziehen, während die hinteren Fasern deutlich nach außen und hinten gerichtet sind.

Dorsale Bänder vom Naviculare zu den Keilbeinen.

Sie verlaufen annähernd quer über die Fugen distalwärts, immerhin mit einer Neigung, etwas mehr nach außen zu gehen. (Hemmung der Einwärtsbewegung des Naviculare hinter den Keilbeinen.)

Zwischen Naviculare und Kuboid spannt sich mit tieferen und oberflächlichen Fasern ein Band aus, das oft in mehrere Teile zerfällt, im ganzen quer nach außen und nur wenig nach vorn absteigt und dabei etwas divergiert.

Am medialen Fußrand findet sich über tieferen, schräg auswärts aufsteigenden, vom Naviculare zum I. Keilbein verlaufenden Fasern

ein starkes breites Band, das nur wenig divergierend vom Höcker des Naviculare zu dem nach hinten und unten vom Ansatz der Sehne des Tibialis ant. gelegenen Randwulst des I. Keilbeins hinzieht.

Die vom Naviculare ausgehenden dorsalen und inneren marginalen Fasern bilden zusammen eine Art Lig. radiatum dorsale.

5. Die plantaren Bänder des Vordertarsus (Fig. 101).

Die Höcker des Naviculare und I. Keilbeins bilden am Vordertarsus den medialen Rand der Plantarrinne.

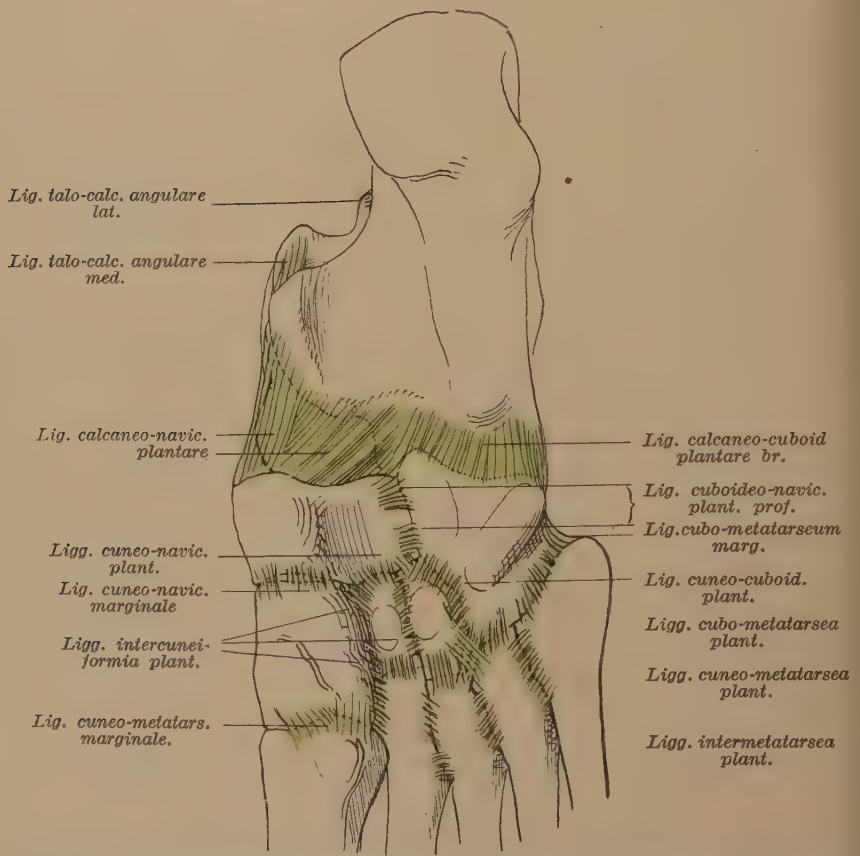


Fig. 101. Plantare und marginale Bänder des Tarsus (tiefe Schicht der plantaren Bänder am Lisfranc, am Vordertarsus und an der Art. calcaneo-cuboidea).

Am I. Keilbein liegt die Schneide des Keils oben, der Rücken unten; letzterer ragt über das II. Keilbein stark plantarwärts und ist, je weiter

orn, um so mehr direkt nach unten gerichtet; insbesondere gilt dies ür die Rauhigkeit, die nach unten vom glatten Ansatzfeld des M. tibialis nt. gelegen ist. Vorn schließt sich an sie die schnabelartige plantare cke der Basis des II. Metatarsale, aus welcher die scharfe plantare Kante dieses Knochens hervorgeht. Das I. Metatarsale ragt über das I. plantarwärts vor, so daß sich die Plantarrinne auch noch ins Metatarsusgebiet fortsetzt. Sehen wir von der Randfläche dieses Randvulstes ab, so bleibt für die im engeren Sinn „plantare" Fläche des Vordertarsus und Lisfranc nur ein verhältnismäßig schmales Areal übrig.

Das Naviculare ist in diesem Areal mit den drei Keilbeinen in ganz analoger Weise wie auf dem Dorsum durch ein radiäres Fasersystem verbunden. Nur sind die zu den Keilbeinen gehenden Teile viel schmaler. Das Band zum Kuboid ist ein kräftiger, im wesentlichen querer Strang, dessen hinterste, zur Spitze des Processus styloides des Kuboides gehende Fasern etwas proximalwärts verlaufen. Die Faserzüge, welche, vom Naviculare ausgehend, die Plantarrinne kreuzen, sind zum Teil vom Grund derselben etwas abgehoben.

Das plantare Band zwischen dem Würfelbein und dem III. Keilbein setzt sich lateral an der plantaren Schneide des Keilbeins an; es ist kräftig und besteht gewöhnlich aus mehreren Portionen. Seine Fasern verlaufen vom Kuboid aus schräg nach vorn und innen zum Keilbein. Ein ziemlich schwaches plantares Band geht fast quer und nur wenig distalwärts vom III. zum II. Keilbein; ein starkes Band, deutlich schräg distalwärts lateralwärts verlaufend, verbindet das I. mit dem II. Keilbein.

Ausstrahlung der Sehne des Tibialis post.

Am medialen Fußrand sieht man die Sehne des Tibialis post. mit einem Teil ihrer Fasern am Höcker des Naviculare sich ansetzen (Figg. 102 und 103); der ansehnliche Rest der Faserung dringt an ihm außen lateral vorbei in die Plantarrinne und zieht auseinanderstrahlend gegen die unteren Ränder des II. und III. Keilbeins, um sich dort anzuheften. Beim Eindringen in die Plantarrinne wird er von einer mächtigen, vom Sustentaculum tali zum Höcker des Naviculare ziehenden Faserung überbrückt, welche mehr die Bedeutung eines Bandes als eines Sehnenretinakulums hat und als ein oberflächliches plantares Lig. calcaneo-naviculare aufgefaßt werden kann.

Nach Durchschneidung desselben und Kürzung der Sehne gelangt man von unten auf die tieferen Teile der Sehnenausstrahlung.

6. Plantare Bänder am Lisfranc (Figg. 101 bis 103).

Es kommen in Betracht:

Die tiefen, plantaren Bänder des Lisfranc; sie sind ganz analog den dorsalen Bändern dieser Zone disponiert (Fig. 101).

Im Anschluß an das laterale, vom Kuboid zum Höcker des V. Metatarsale verlaufende Randband: plantare Bandzüge vom Kuboid zum V. Metatarsale.

Vom Kuboid, von der Basis des V. Metatarsale und vom Cuneiforme III ausgehende, distalwärts konvergierende Bänder zum IV. Metatarsale (das Band vom III. Keilbein ist besonders stark).

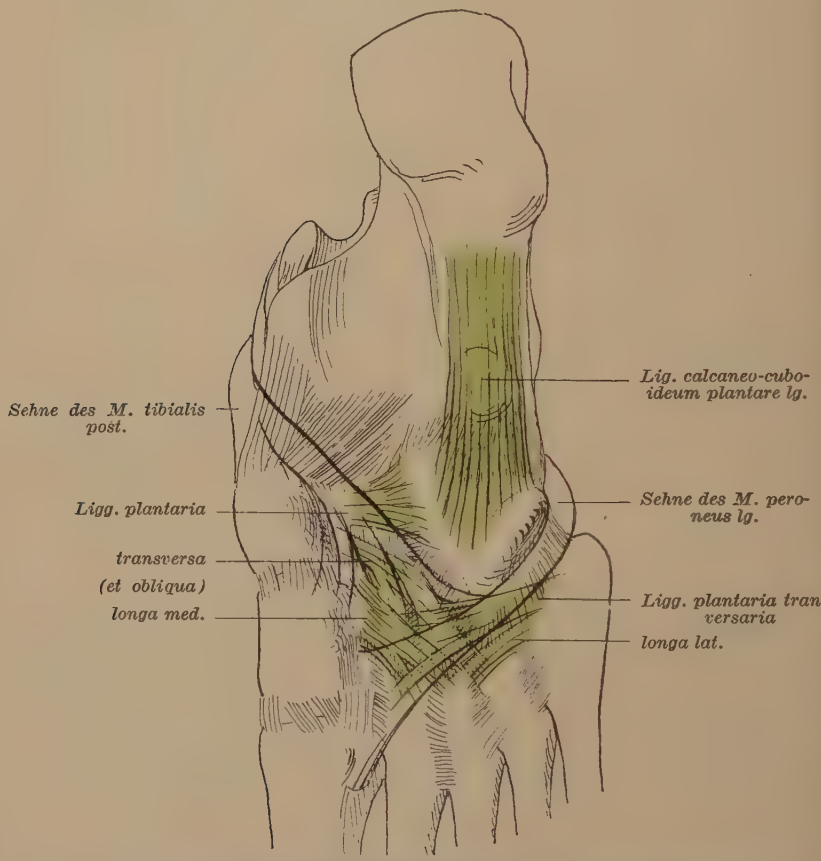


Fig. 102. Oberflächliche plantare Bänder am Lisfranc, am Vordertarsus und an der Art. calcaneo-cuboidea.

Vom Kuboid und III. Keilbein und von den Basen des IV. und II. Metatarsale herkommende Züge zur Basis des III. Metatarsale.

Züge von den drei Keilbeinen zur Basis des II. Metatarsale (dasjenige vom I. Keilbein besonders stark).

Ein starkes Band an der Innenwand der Plantarrinne vom I. Keilbein zum I. Metatarsale.

Dazu kommen nun aber noch oberflächliche plantare Bänder des Lisfranc (Fig. 102).

a) Ein Faserzug entspringt am Cuneiforme I, wo er die Innenwand der Plantarrinne bildet, und geht schräg distalwärts und auswärts durch den Grund der Plantarrinne zur Basis des II. und III. Metatarsale.

b) Faserzüge gehen zur Basis des V. Metatarsale, welche namentlich von der plantaren Randkante des III. (und II.) Keilbeins, aber auch von der Basis des III. und sogar des II. Metatarsale herkommen; sie verlaufen quer resp. rückwärts auswärts unter Konvergenz. Ausnahmsweise enden sie am IV. statt am V. Metatarsale. Diese unter a) und b) aufgeführten Faserzüge haben sehr verschiedene Benennung erhalten (s. R. Fick, I., S. 475). Wir dürften sie vielleicht als innere und äußere lange plantare Querbänder (Ligg. plantaria transversa longa medialia und lateralia) bezeichnen.

Mit dem hinteren Rand des Lig. transversum verbinden sich Fasern aus der Ausstrahlung der Sehne des M. tibialis post. (s. u.).

Unter dem vorderen Teil des Kuboides und den genannten Bändern der inneren Abteilung des Lisfranc vorbei verläuft die Sehne des Peroneus longus. Ihre Hauptanheftung geschieht an der Innenseite der plantaren Ecke der Basis des Metatarsale I, doch strahlt sie auch an das I. Keilbein. Oberflächlich über sie hinaus ziehen Fasern, die teils an der Tuberosität des Kuboides entspringen, teils oberflächliche (metatarsale) Ausstrahlungen der am Calcaneus entspringenden Fasermasse des Lig. plantare longum sind; erstere gehen zu den Basen der zwei äußeren, letztere zu den Basen der mittleren Metatarsalia (s. u.).

Sehne und Sehnenscheide des M. peroneus longus.

Die Sehne des Peroneus longus schlingt sich um den Rand des Kuboides herum von der dorsalen auf die plantare Seite, um an letzterer, eingebettet in die plantare Bandmasse vor dem plantaren Höcker des Kuboides und unter dem III. und II. Keilbein vorbei schräg distalwärts zur Basis des I. Metatarsale zu verlaufen und dort ganz im Grunde der Plantarrinne sich anzuheften. Ihr Zug stellt den Großzehenstrahl steiler plantarwärts gegen den Vordertarsus und adduziert ihn nach der Mittellinie des Fußes hin. Dieser Exkursion entsprechend ist sie in der Rinne des Kuboides und unter den Keilbeinen von der Umgebung abgespalten. Die zum größten Teil von den umgebenden Bandmassen gebildete Sehnenscheide ist stellenweise faserknorplig verdichtet, ebenso wie die Sehne selbst an den Stellen des stärksten Druckes und der stärksten Biegungsbeanspruchung.

Die plantare Sehnenscheidenspalte hängt in der Regel mit derjenigen des Fußrückens nicht zusammen.

Die Faserschicht, welche die Peroneus longus-Sehne unter dem Kuboid und weiter medialwärts zudeckt, erscheint wesentlich als Ausstrahlung einer mächtigen, vom Höcker des Kuboides und weiterher

vom Calcaneus kommenden Bandmasse, die als Lig. plantare commune bezeichnet wird.

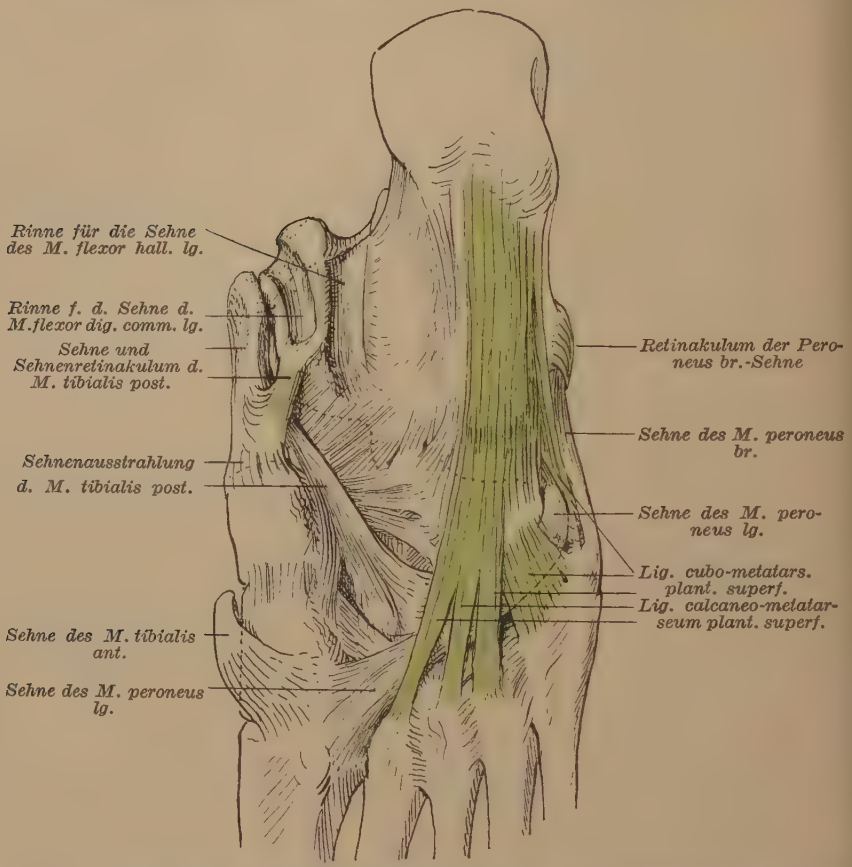


Fig. 103. Einstrahlung der Sehnen des Tibialis post. und des Peroneus lg. in den plantaren Bandapparat.

ε) Das Lig. plantare commune.

(Figg. 102 u. 103.)

Über die Plantarseite des ganzen subtalaren Tarsusabschnittes und bis zum Metatarsus erstreckt sich das Lig. plantare commune.

Wir unterscheiden an dieser Bandmasse einen tiefen, am Kuboid endenden, und einen oberflächlichen, bis zum Metatarsus sich erstreckenden, die Sehne des Peroneus longus überbrückenden Teil (Lig. plantare commune profundum und superficiale).

a) Der **tiefe Teil** ist ein **Lig. calcaneo-cuboideum plantare.** Er entspringt

α′) Als Lig. calcaneo- cuboideum plantare breve vom stufenartigen Absturz am vorderen Ende des Calcaneus-Unterrandes und verläuft unter flächenhafter Ausbreitung nach vorn außen, vorn und namentlich nach vorn innen zu den benachbarten Teilen der Plantarseite des Kuboides. Die vorwärts einwärts gehenden schrägen Fasern sind das Lig. calcaneo-cuboideum plantare obliquum der Autoren.

β′) An die mehr direkt nach vorn gehenden Faserzüge schließt sich unmittelbar eine mächtige Fasermasse an, welche an der unteren Schmalseite des Calcaneus von der Stufe bis zum Fersenhöcker entspringt und in wesentlich longitudinalem Verlauf zum Plantarwulst des Kuboides zieht. Wir können diese Fasern als Lig. calcaneo-cuboideum plantare longum bezeichnen. Mit den lateralen, longitudinalen Fasern des Lig. calc. cub. plant. breve könnten sie als Lig. calc. cuboid. pl. rectum zusammengefaßt werden.

b) Der **oberflächliche Teil** des Lig. plantare commune kann als **Lig. calcaneo-cubo-metatarseum** bezeichnet werden. Er besteht

α′) aus Fasern, welche vom Höcker des Kuboides über die Peroneus longus-Sehne hinüber als Lig. cubo-metatarseum plantare mediale superficiale zu den Basen des III., II. und manchmal auch des I. Metatarsale und als Lig. cubo-metatarseum plantare superficiale laterale zu den Basen des IV. und V. Metatarsale verlaufen;

β′) aus Fasern, welche von der Unterseite des Fersenbeins (von den beiden unteren Höckern des Fersenfortsatzes und auch teilweise von dem davorgelegenen Rand bis zur Stufe hin) entspringen und in einem Zuge über den plantaren Höcker des Kuboides hinweg zu den Basen der drei mittleren Metatarsalia ziehen. Wir nennen diesen Teil Lig. plantare calcaneo-metatarseum mediale. Ferner gehört hierher der von R. Fick als Band in Anspruch genommene, oft vielbündelige Faserzug, der vom lateralen unteren Fersenhöcker zu dem über den lateralen Fußrand vorragenden Basishöcker des V. Metatarsale verläuft und den wir als Lig. plantare calcaneo-metatarseum laterale bezeichnen.

Die ganze oberflächliche, zum Metatarsus ziehende Fasermasse und die oberflächliche, longitudinale Portion der tiefen (des Lig. calcaneo-cuboideum) ist etwa auch als Lig. plantare longum zusammengefaßt und dem Lig. plantare breve gegenübergestellt worden.

Die Hauptmasse der Fasern verläuft vom Calcaneus zum Kuboid und gehört speziell zu der Articulatio calcaneo-cuboidea.

Alle diese Bänder helfen natürlich den Längszusammenhang und die abwärts konkave Längswölbung der subtalaren Fußplatte vom Calcaneus durch das Kuboid bis zu den äußeren und mittleren Metatarsen hin sichern.

ζ) Die Verbindung zwischen Calcaneus und Vordertarsus (Articulatio calcaneo-cuboidea).

Wir unterscheiden am Ende des Calcaneus (Processus ant.) eine plantare breiteste, nach unten und innen gewendete, und zwei dorsale,

gerundet ineinander übergehende Facetten, eine obere, welche etwas dem Taluskopf und Sinus tarsi zugewendet ist und allenfalls als Facies interossea gedeutet werden kann, und eine äußere, die in der Flucht der übrigen Dorsalseite des Calcaneus liegt. Demgemäß entspricht die quere Endfläche des Calcaneus ungefähr einem rechteckigen Dreieck mit plantar gelegener Hypotenuse. Sie ist im ganzen flach, indessen in dorsoplantaren Linien etwas konvex.

Die Linien, die von der Außenseite und unteren lateralen Ecke nach dem Margo interosseus zu laufen, sind namentlich nach letzterem hin etwas konkav, so daß dort die Fläche sattelförmig wird, mit dorsovolarwärts verlaufender Einsattelung. Die innere obere Ecke ragt sperrzahnartig distalwärts. Innen plantar an derselben, am plantaren Teil der Einsattelung greift das mit seiner proximalen Fläche ungefähr darauf passende Kuboid mit einer Art von Fortsatz (Processus styloides) proximalwärts. Das Kuboid kann sich am besten unter Erhaltung möglichster Kongruenz am Calcaneus vom Dorsum zur Planta und umgekehrt verschieben, wobei die Exkursionen außen größer sind als innen. Man hat zu berücksichtigen, daß die stärksten und reichlichsten Bandmassen zwischen Calcaneus und Vordertarsus unter dem inneren Teil des Gelenkes verlaufen, daß ferner das Naviculare mit dem Kuboid im Vordertarsus nahezu starr verbunden ist. Ferner ist sein Plantarrand mit der oberen inneren Kante des Processus ant. calcanei und dem anschließenden Rand des Sustentaculum tali durch eine mächtige Bandplatte, dem Lig. calcaneo-naviculare verbunden. Das Naviculare kann sich wegen des Taluskopfes dem Sustentaculum tali nicht erheblich nähern und wegen des genannten Bandes nicht von ihm entfernen, wohl aber mit diesem Band dorsal- und plantarwärts gehen, eventuell unter etwelcher Änderung des Winkels zwischen seiner Pfannenfläche und dem Ligament. Da aber das Pfannenband nach außen kürzer wird, so werden bei der Bewegung des Naviculare seine Exkursionen innen größer sein als außen. Die straffste Verbindung des Calcaneus mit dem Vordertarsus liegt also plantar in der Mitte, nach unten und innen von den beiden übereinander greifenden Sperrzähnen des Calcaneus und Kuboides. Bei geeigneter Krafteinwirkung wird wohl eine Bewegung des Vordertarsus (Kuboid und Naviculare) gegenüber dem Hintertarsus und Calcaneus möglich sein, aber vornehmlich im Sinn einer Längsdrehung, wobei der laterale Rand des Kuboides nach oben und der mediale Rand des Naviculare nach unten (und weil das vorwärts aufsteigende Lig. acetabuli sich dabei mehr horizontal stellt, auch etwas nach vorn) geht, um eine Achse, welche im Mittel etwa vom unteren Teil des lateralen Randes des Fersenhöckers durch den plantaren proximalen Fortsatz des Kuboides und vielleicht das II. oder I. Keilbein gegen die Dorsalfläche des Fußes etwas nach vorn aufsteigt (schräge Calcaneo-Kuboid-Achse). Die Rückwärtsbewegung wird natürlich um dieselbe Achse in entgegengesetztem Sinn stattfinden. Eine solche Drehung wird besonders dann möglich sein, wenn gleichzeitig der Talus durch Änderung seiner Stellung zum Calcaneus der mit der Lage und

tellungsänderung des Naviculare und Lig. acetabulare verursachten eränderung der Pfanne sich anzupassen vermag. Solches ist nun ei der Kräfteeinwirkung, welche gewöhnlich zur Drehung des Talus genüber dem Calcaneus und des Vordertarsus gegenüber dem Tarsus hrt, in der Tat der Fall, wie weiter unten gezeigt werden soll.

Die Bewegung zwischen Vordertarsus und Calcaneus geschieht also m eine schräge, aber dem longitudinalen Verlauf am meisten genäherte chse; in ihr dominiert die Längsrotation, wie bei dem später zu be- rechenden Motus talo-calcaneus. Hier wie dort können wir von einer ronation und Supination sprechen, und zwar bezeichnen wir die it Einwärtsrotation verbundene Bewegung um die schräge chse als die Pronation, die mit Auswärtsrotation verbun- ene als die Supination. Die Articulatio calcaneo-cuboidea bildet ır den äußeren Teil der Junktur zwischen Calcaneus und Vordertarsus.

Die Gelenkkapsel ist entsprechend den kleinen Exkursionen im elenk im ganzen nur kurz und greift wenig über die Ränder der Ge- nkflächen hinaus. Außen ist sie am längsten und schlaffsten (in mitt- rer Stellung). Insofern als die Elemente des Vordertarsus verhältnis- äßig starr miteinander verbunden sind, gehört zu dem in Rede stehenden elenk nicht bloß der unmittelbar mit der Kapsel verbundene Band- pparat, es sind auch die vom Calcaneus zu anderen Teilen des Vorder- rsus als zum Kuboid verlaufenden Bänder hierher zu rechnen; aber ich die Faserzüge vom Calcaneus zu den Metatarsalia haben Beziehung u diesem Gelenk (mehrgelenkige Bänder).

Man kann folgende hierher gehörige Bänder darstellen, wobei wir ie kurzen zuerst nennen.

1. Ein kurzes Lig. calcaneo-cuboideum laterale.
2. Ein kurzes Lig. calcaneo-cuboideum dorsale.
3. Ein mediales (dorsales) Lig. calcaneo-cuboideum (bildet it einem lateralen dorsalen Lig. calcaneo-naviculare das Lig. ifurcatum).
4. Die plantare Bandmasse, nämlich das lange und das kurze ig. calcaneo-cuboideum plantare, welche beide nur das Cal- aneo-Kuboidgelenk überspringen, und die Ligg. calcaneo-meta- arsea mediale und laterale, welche außerdem noch weiter distal elegene Gelenke (der Lisfrancschen Gelenklinie) überspringen.
5. Ferner gehören im weiteren Sinn hierher die vom Calcaneus um Naviculare gehenden Bänder, nämlich das schon genannte Lig. alcaneo-naviculare acetabulare, unser Lig. calcaneo-navi- ulare plantare superficiale, das Lig. calcaneo-naviculare nterosseum und die direkten und indirekten Verbindungen zwi- chen Naviculare und Kuboid im Vordertarsus.

η) Das gemeinsame Sprunggelenk.

Mit diesem Namen können wir die Skelettregion bezeichnen, welche ie Unterschenkelknochen mit der subtalaren Fußplatte verbindet. s handelt sich um das Sprungbein und um drei anatomisch selbstän-

dige, je mit einer abgeschlossenen Gelenkhöhle versehene Gelenke, welche das Sprungbein mit den Nachbarknochen verbinden; um das obere Sprunggelenk (Fußgelenk, Knöchelgelenk, Articulatio talo-cruralis), um das hinter dem Canalis tarsi gelegene hintere untere Sprunggelenk (Artic. talo-calcanea) zwischen Taluskörper und oberem Fortsatz des Calcaneus und um das vor dem Canalis tarsi gelegene vordere untere Sprunggelenk (Artic. talo-calcaneo-navicularis), in welchem der Taluskopf, das Naviculare und der vordere Teil des Calcaneus zusammenstoßen. Die Berechtigung, gelegentlich von einem gemeinsamen Sprunggelenk zu sprechen, beruht darin, daß bei den Bewegungen zwischen dem subtalaren Teil des Fußes und dem Unterschenkel alle drei Gelenke beteiligt sind, und daß alle vom Unterschenkel zum Fuß verlaufenden Muskeln und auch einige Bänder den Talus überspringen, ohne sich an demselben festzuheften. Der Talus hat also gewissermaßen nur die Bedeutung eines knöchernen Meniscus in einem mehrkammerigen Gelenk, das also nach unseren Begriffsbestimmungen (im Allgemeinen Teil S. 114) eine heterokinetische plurikapsuläre Gelenkkombination darstellt.

1. Äußere Formverhältnisse der Sprunggelenkgegend.

Es ist vor allem von Wichtigkeit, sich eine genaue körperliche Vorstellung von dem Aufbau der Sprunggelenkgegend aus ihren Bestandteilen zu verschaffen. Die früher angestellten hierfür dienlichen Betrachtungen (S. 160—168) können hier noch in folgender Weise ergänzt werden:

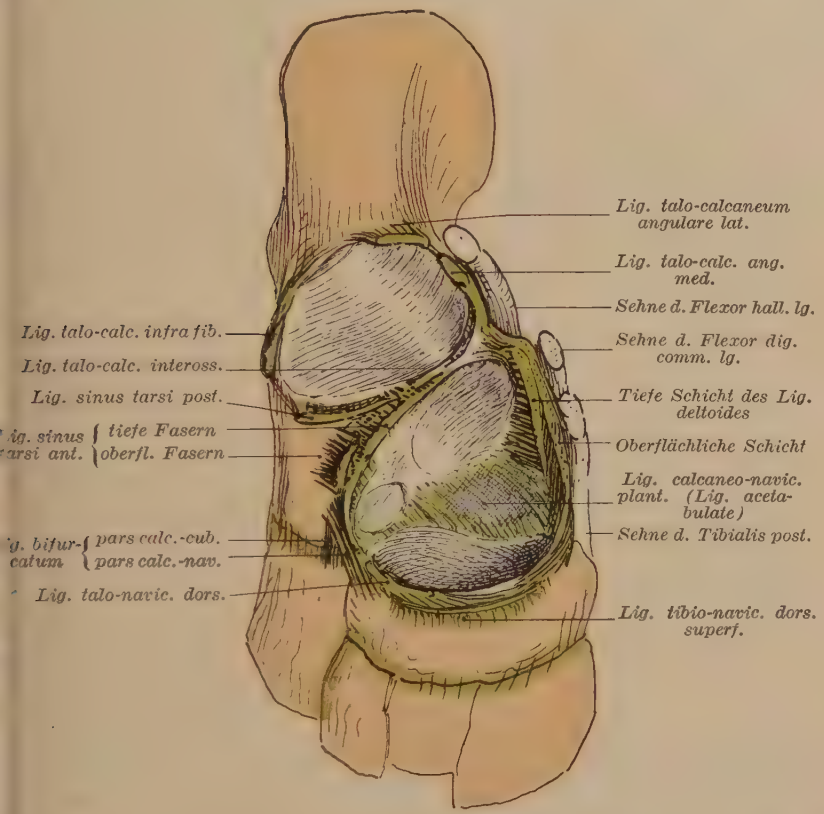
1. Bei Betrachtung der subtalaren Fußplatte von oben (Fig. 104) sieht man den Ausschnitt derselben, in welchen der Talus hineinpaßt. Die hintere schräge Wand wird von der vorwärts einwärts abschüssigen, überknorpelten Seite des Processus sup. calcanei gebildet, die vordere, weiter innen gelegene, fast direkt rückwärts schauende Wand durch die hintere, pfannenartig gehöhlte, überknorpelte Fläche des Naviculare, der Boden durch den Processus ant. des Calcaneus, das Sustentaculum tali und endlich das Lig. calcaneo-naviculare inferius s. acetabulare, welch letzteres den Einschnitt zwischen jenen beiden Teilen des Calcaneus ausfüllt. Alle diese Teile zusammen bilden eine Art gegliederter Pfanne. Überknorpelte Gelenkflächen finden sich auch am Proc. ant. und am Sustentaculum. Das Lig. acetabulare ist oben glatt und faserknorpelig umgewandelt. In diese Pfanne ist nun der Taluskopf eingesetzt.

Fig. 74, S. 159, zeigt in der Projektion auf die Horizontalebene die Lage der Talusrolle gegenüber der subtalaren Platte für den Fall des aufrechten Standes auf beiden Fußsohlen.

2. Besonders instruktiv ist die Betrachtung in der Ansicht der ganzen Sprunggelenkgegend von hinten her (Fig. 110). Man beachte, wie zwar der Talus hinten mit seinem Körper über den Calcaneus nach außen hinübergeschoben ist, wie aber seine ganze Innenseite gegenüber dem Hauptbalken des Calcaneus und seinem hinteren (Fersen-)

ortsatz stark nach innen vorragt und vorn nur teilweise durch das ustentaculum tali getragen ist. Auch der Processus tali post. steht ber den Hauptbalken des Calcaneus nach innen vor.

Der Malleolus internus bildet dann eine weitere stufenförmige Aus- dung der Sprunggelenkgegend nach innen, während der Malleolus xternus aus der Flucht der lateralen, dorsalen Seite des Calcaneus eniger vorsteht. Der hintere, schräg auf die fibulare Kante gestellte



ig. 104. Subtalarer Tarsusabschnitt mit den Gelenkflächen für den Talus und dem Ansatz der Kapseln und Bänder der unteren Sprunggelenke.

eil der Fußplatte ist mit seiner Plantarseite nach innen und unten ewendet. Der Eingang zur Planta pedis aber ist rinnenartig gestaltet. in hinterer Rand der Rinne wird von der inneren Ausladung des Fersen- ndes des Calcaneus gebildet, der gegenüberliegende vordere Rand von der nedialen Vorragung der Sprungbeingegend und dem inneren Fußrand. Über den weiteren Verlauf der Plantarrinne am Fuß s. S. 167. Die Rückseite des Unterschenkelskeletts setzt sich von der Gegend hinter

den Knöcheln wesentlich an die Innenseite des Fersenbeins in die Plantarrinne fort, die äußere Hinterknöchelrinne an der Außenseite des Fersenbeins erscheint als weniger wichtige Fortsetzung. In der Tat entspricht entwicklungsgeschichtlich die Rückseite des Unterschenkels der Plantarseite des Fußes (von der Höhe des lateralen Knöchels abgesehen) und kann als Plantarseite bezeichnet werden.

Die Grenze zwischen der Dorsal- und Plantarseite geht, wie schon erwähnt, von der Ferse über den oberen Rand des Fersenfortsatzes zum hinteren Rand des Tibiofibulargelenkes. Der Malleolus lateralis muß als ein nach der Dorsalseite hin gewachsener vortretender Teil der Fibula angesehen werden.

2. Die Kapseln der drei Sprunggelenke.

Die Kapseln der drei Sprunggelenke stellen drei Ringe oder Manschetten dar, welche von oben her die Rolle, von hinten unten her den Taluskörper und von vorn innen und unten her den Kopf und Hals des Talus umgreifen. Es ist wichtig, daß man sich vor allem die Lage dieser drei Kapselringe zueinander und zum Talus klar macht.

Sinus und Canalis tarsi trennen die beiden unteren Sprunggelenke voneinander.

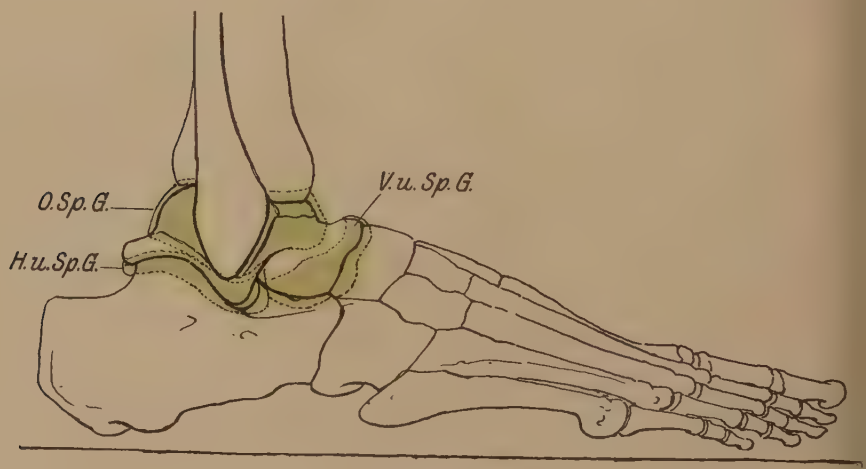


Fig. 105.

Der Kapselring des vorderen unteren Sprunggelenkes ist besonders unregelmäßig, auch wenn man das Lig. calcaneo-naviculare acetabulare zur Pfanne rechnet. Schmal in der Vorderwand des Canalis tarsi hinter dem Taluskopf hat er an den Seiten, namentlich innen, über jenem Band eine ansehnliche Breite. Die Ursprungslinie umgreift den Talushals annähernd in einer Ebene, welche vom Canalis tarsi nach innen vorn aufsteigt; der Kapselansatz aber folgt in unregelmäßiger Biegung dem Rand der oben geschilderten Pfanne (Fig. 104).

Der Kapselring des hinteren unteren Sprunggelenkes ist hinten außen schmal und nur vorn in der Hinterwand des Sinus tarsi etwas breiter. Er entspringt am Talus ziemlich genau am Rand der unteren hinteren Gelenkfläche, ungefähr in einer Ebene, welche vom Canalis tarsi nach hinten und außen aufsteigt. Die Rinne am hinteren Talushals für die Sehne des Flexor hallucis longus liegt oberhalb des Kapselursprunges und greift nur wenig über die Ränder der vorderen abschüssigen Fläche des Processus sup. calcanei hinüber, am weitesten noch am hinteren äußeren Umfang des Gelenkes. Im Canalis tarsi kommt dieser Kapselring dem vorderen unteren bis zur Berührung nahe.

Beim Kapselring des oberen Sprunggelenkes umgreift der Ansatz am Talus ziemlich horizontal den Umfang der Rolle. Am Unterschenkel folgt der Kapselansatz dem unregelmäßigen Rand des Einschnittes zwischen den beiden Malleolen; am äußeren Knöchel überkreuzt er die Innenseite etwas oberhalb der Spitze des Knöchels. Vor und hinter der Gabel der Unterschenkelknochen ist der Kapselring zwischen Ursprung und Ansatz besonders breit.

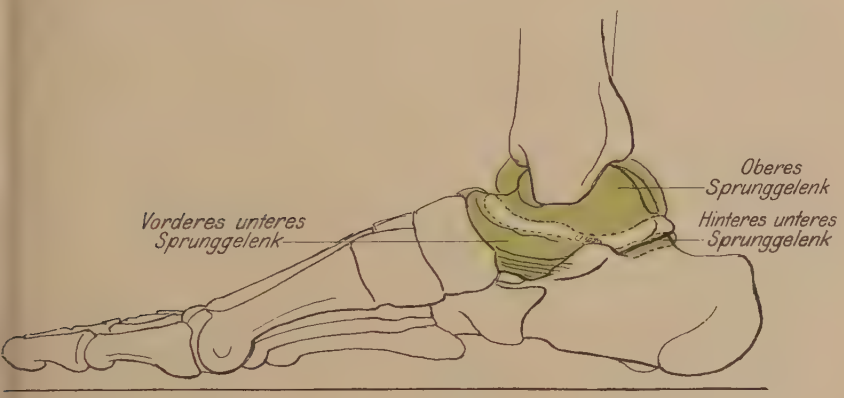


Fig. 106.

Das vordere Kapselfeld breitet sich in dieser Richtung weit aus bei der Senkung und schiebt sich auf eine Linie zusammen und faltet sich bei der Hebung des Fußes. Umgekehrt verhält sich das hintere Kapselfeld. In der Gegend des äußeren Knöchels ist die Kapsel schmal und unter dem Knöchel versteckt. Unter dem inneren Knöchel liegt sie in schmalem Streifen bloß.

Innen und vorn nähert sich dem talaren Ansatz der oberen Sprunggelenkkapsel derjenige des vorderen unteren Kapselringes bis fast zur Berührung. Hinten außen berühren sich die Kapsel des oberen und des hinteren unteren Sprunggelenkes und verschmelzen eine Strecke weit im Bereich des Lig. talo-fibulare post. (s. u.). Vor der Talusrolle herum bis zu den beiderseitigen Eingängen des Canalis tarsi wird ein schmaler Streifen des Talushalses zwischen dem oberen und dem

vorderen unteren Sprunggelenk frei, ebenso hinter der Talusrolle herum bis zu den Kanaleingängen an den meisten Stellen ein Streifen zwischen dem oberen und dem hinteren unteren Sprunggelenk. Die beiden Streifen vereinigen sich über den Kanaleingängen miteinander und mit dem Streifen, der an der Decke des Canalis tarsi die Kapseln und Bänder der beiden unteren Sprunggelenke trennt (soweit sie nicht mit einander verschmolzen sind). So bildet der freie Teil der Talusoberfläche beiderseits über den Kanaleingängen eine dreistrahlige Figur.

Um die Verhältnisse der drei Kapselringe und der ihnen eingelagerten, zu den drei Gelenken gehörenden Eigenbänder zu übersehen, müssen zuerst die mehr gelenkigen Sprunggelenkbänder, welche von der Tibia oder Fibula aus über den Talus hinüber bis zur subtalaren Fußplatte verlaufen, präpariert, durchschnitten und nach beiden Ansatzstellen hin zurückgeschlagen werden. Dann lassen sich die drei Kapseln und ihre Ansatzstellen genau präparieren. Gerade hier ist es besonders vorteilhaft, die Ansatzlinien und die dünnen Stellen der Kapsel für jedes Gelenk mit einer eigenen Farbe zu markieren.

Dem detaillierten Studium der Bänder dieser Gelenke muß eine Untersuchung über die in letzteren möglichen Bewegungen vorausgehen.

3. Die Bewegung in den unteren Sprunggelenken.

a) Motus talo-calcaneus.

Es ist klar, daß der Calcaneus sich gegenüber dem Talus im hinteren unteren Sprunggelenk nicht bewegen kann, ohne daß er sich auch im vorderen unteren Sprunggelenk gegenüber dem Talus nach dem gleichen Gesetz bewegt. Halten wir den Talus vollkommen fest und versuchen Bewegungen des Calcaneus auszuführen, so zeigt sich, daß es sich um annähernd zwangsmäßige Drehbewegung des Calcaneus handelt. Und zwar hat dieselbe wesentlich den Charakter einer Einwärts- resp. Auswärtsrotation um die Längsachse. Doch verbindet sich mit der Längsrotation regelmäßig eine Umstellung der Längslinie des Calcaneus in der Weise, daß bei der Einwärtsrotation das hintere Ende einwärts und etwas abwärts, das vordere Ende aber in geringerem Maße nach außen und etwas nach oben geht. In Wirklichkeit handelt es sich also um eine Drehung um eine Achse, welche schräg durch die Mitte des Calcaneus nach vorn und etwas nach innen aufsteigt.

Prüfen wir nun das Verhalten der Gelenkflächen, in denen Talus und Calcaneus zusammenstoßen, so bemerken wir, daß sie wirklich annäherungsweise Teile einer um eine solche Achse herumgehenden Rotationsfläche sind. Die Gelenkfläche des hinteren unteren Sprunggelenkes gleicht einigermaßen einem Stück aus dem oberen Umfang des Mantels eines Kegels, dessen Spitze vorn innen liegt.

Die vorderen Gelenkflächen aber entsprechen Abschnitten aus dem unteren Umfang einer um die gleiche Achse herumgehenden, komplizierteren Rotationsfläche. Die Achse dieser Rotationsfläche und des erwähnten Kegelmantels steigt durch den engen Teil des Canalis tarsi nach vorn innen auf. Sie verläuft im Calcaneus durch den unteren Teil der

Außenkante des Fersenendes. Die in dieser Linie gelegenen Punkte des Calcaneus bleiben bei der Bewegung des Calcaneus gegenüber dem Talus annähernd in Ruhe, d. h. sie ändern ihre Stellung zum Talus nicht. Die vordere Fortsetzung dieser Geraden, welche der Achse der Drehung zwischen Talus und Calcaneus entspricht, geht im Talus vom Canalis tarsi zur inneren oberen Peripherie des Taluskopfes, die sie 1 cm proximal von der Gelenkspalte zwischen Talus und Naviculare durchschneidet. Halten wir den Calcaneus fest und bewegen den Talus, so dreht er sich um die gleiche Achse gegenüber dem Calcaneus.

Wir nennen diese Achse die **schräge Talo-calcaneus-Achse.**

Nehmen wir an, daß der Vordertarsus mit den Skelettstrahlen starr mit dem Calcaneus verbunden ist, und dessen Bewegung um die schräge Talo-calcaneus-Achse mitmacht, so ist auch für die ganze starre subtalare Fußplatte die Bewegung vor allem eine Drehung um diese Achse. Sie äußert sich vor allem in einer Längsrotation des subtalaren Abschnittes. Insofern aber die Talo-calcaneus-Achse doch nicht genau längs verläuft, sondern auch etwas vom äußeren zum inneren Fußrand nach vorn aufsteigt, so kombiniert sich mit der Längsrotation eine Drehung um eine quer zum Fuß von außen unten nach innen oben gehende Achse, durch welche die Fußspitze zugleich gehoben und abduziert, oder gesenkt und adduziert wird, und zwar kombiniert sich ersteres zwangsmäßig mit der Einwärtsrotation, letzteres mit der Auswärtsrotation der subtalaren Platte.

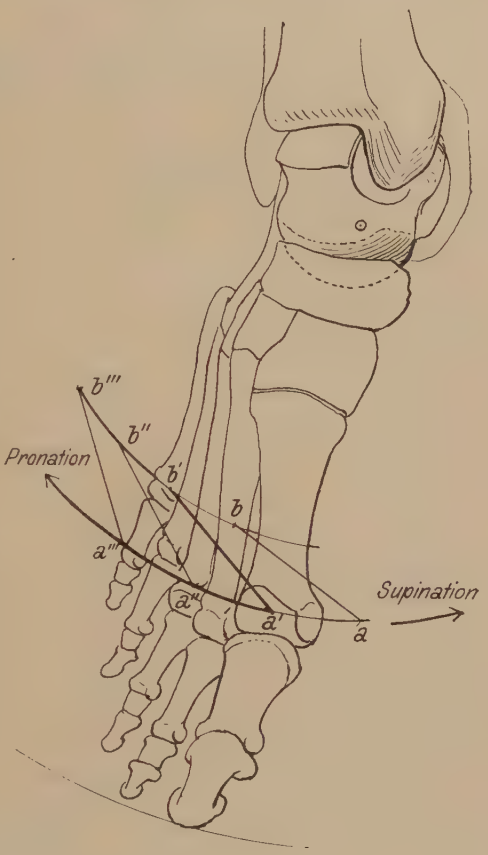


Fig. 107.

Die verschiedenen Punkte der vorderen Teile des Fußes beschreiben Kreislinien um die schräge Talo-calcaneus-Achse; sie gehen dabei im Bogen von unten nach außen und oben oder umgekehrt; die äußeren Punkte beschreiben größere Bogen, der äußere Fußrand hebt sich gegenüber dem Innern, insofern findet also Einwärtsrotation statt; zugleich

aber wird die Fußspitze abduziert und gehoben. Umgekehrt kombiniert sich Auswärtsrotation mit Senkung und Adduktion der Fußspitze.

Für diese Bewegung um die schräge Achse, welche eine bestimmte Kombination zwischen Rotation um die Längsachse und Drehung um eine einwärts aufsteigende oder um eine horizontale und eine vertikale Querachse darstellt, gebrauchen wir nun, wie dies schon die Brüder Weber und Hüter getan haben, die Ausdrücke **Pronation** und **Supination.** Und zwar nennen wir Pronation die Bewegung, in welcher Einwärtsrotation mit Abduktion und Hebung (der Fußspitze) kombiniert ist, Supination aber nennen wir die Bewegung, in welcher Auswärtsrotation mit Streckung und Adduktion kombiniert ist.

Es leitet dabei die Analogie mit der als Pronation und Supination bezeichneten Bewegung, welche von der Hand zusammen mit dem Radius um die Ulna ausgeführt wird. Auch bei ihr handelt es sich vor allem um Längsrotation, aber auch hier geschieht die Drehung um eine schräge Achse und verbindet sich mit der Längsrotation eine Nebenbewegung, eine Abweichung der Hand nach innen oder außen. Hier wie dort entspricht die Pronation der mit Einwärtsrotation, die Supination der mit Auswärtsrotation verbundenen kombinierten Bewegung. Weiter geht aber die Analogie nicht. Bei der vorgestreckten Hand verbindet sich nämlich mit der Einwärtsdrehung eine Abweichung nach innen (Adduktion), während beim Fuß eine Abweichung nach außen (Abduktion) und eine Hebung damit verbunden ist.

Man findet häufig Füße mit fast aufgehobener Pronations-Supinationsfähigkeit in den unteren Sprunggelenken. Die anatomische Untersuchung zeigt, daß sich die hintere und die beiden vorderen Gelenkflächen am Calcaneus öfters sehr weit von Kegelmantelflächen entfernen und in ihrer Gestalt Zylindermantelflächen annähern mit schräg vorwärts einwärts gerichteter Zylinderachse. Die Achsen der beiden Flächen fallen natürlich nicht zusammen, aber sind beinahe parallel zueinander. Am Taluskopf ist die untere Facette durch eine scharfe Kante, manchmal auch eine Strecke weit durch ein breites Feld mit rückgebildetem Knorpelüberzug von der vorderen gewölbten Endfläche getrennt. Der Talus kann hier fast rein progressiv auf dem Calcaneus vorwärts einwärts und umgekehrt verschoben werden; eine solche Gelenkverbindung erinnert an die Doppelzylinderführung bei neueren Schlittenmikrotomen. Die ausgiebigste Verschiebung bei möglichst gut erhaltener Kongruenz findet statt, wenn sich die Progressivverschiebung des Talus nach vorn innen mit etwas Horizontaldrehung nach innen, die progressive Rückbewegung mit geringer Horizontaldrehung nach außen kombiniert. Im übrigen zeigen solche Füße keine auffällige Deformation.

Eine große Verwirrung der Begriffe ist dadurch entstanden, daß die Ausdrücke Pronation und Supination nicht in dem soeben von uns genau präzisierten Sinn, sondern gleichbedeutend mit Längsrotation des Fußes von zahlreichen Anatomen und Chirurgen angewendet worden sind. Dieser Verwirrung ist die Krone aufgesetzt dadurch, daß neuerdings R. Fick in seinem Lehrbuch die Ausdrücke Pronation und Supination ganz allgemein und für alle Glieder der Extremitäten statt der Ausdrücke Einwärts- und Auswärtsrotation in Gebrauch nimmt. Ich werde später bei Besprechung der Pronation und Supination der Hand eingehend nachweisen, wie unzweckmäßig und ungerechtfertigt diese Neuerung ist. Hier begnüge ich mich damit, sie ausdrücklich abzulehnen. Wir brauchen notwendig für die Bewegungen der Hand und des Fußes, welche nicht reine Längsrotationen sind, sondern Drehungen um etwas schräg zur Längsrichtung gestellte Achsen, besondere Ausdrücke, und der ganzen Analogie und historischen Sachlage nach eignen sich hierfür die Ausdrücke Pronation und Supination am besten.

b) Motus talo-navicularis.

Man kann sich denselben zusammengesetzt denken aus

a) der Bewegung, welche das Naviculare zusammen mit dem Calcaneus ausführt (Motus talo-calcaneus) und

b) aus der Eigenbewegung des Naviculare gegenüber dem Calcaneus.

Letztere Bewegung hängt im wesentlichen ab von der Bewegung in der Articulatio calcaneo-cuboidea zwischen dem Calcaneus und dem in sich starr gedachten Vordertarsus (Motus calcaneo-cuboideus). Wir vernachlässigen dabei die kleinen Bewegungen, welche zwischen dem Naviculare und dem Kuboid stattfinden können. Es fragt sich nur, wie sich diese beiden Bewegungen tatsächlich miteinander kombinieren, ob Supination der subtalaren Platte mit Supination oder mit Pronation des Vordertarsus gegenüber dem Calcaneus verbunden ist, Pronation zwischen Talus und Calcaneus mit Pronation oder mit Supination in der Articulatio calcaneo-cuboidea.

Diese Verhältnisse werden in einem späteren Kapitel erörtert werden.

Aus dem Vorigen ergibt sich aber schon jetzt, daß in funktioneller Hinsicht die verschiedenen Artikulationsstellen am Talus und Calcaneus in anderer Weise zusammengruppiert sind, als in anatomischer Hinsicht. Dies wird am besten in folgender Übersicht zum Ausdruck gebracht:

Anatomischer Gesichtspunkt		Funktioneller Gesichtspunkt
Articulatio talo-calcanea (postcanalia) Articulatio talo-calcaneo-navicularis Pars talo-calcanea praecanalia	Motus talo-calcaneus	Motus talo-navicularis
Pars talo-navicularis Articulatio calcaneo-cuboidea	Motus calcaneo-cuboideus	

Das Chopartsche Gelenk und das untere Sprunggelenk im weiteren Sinn haben die Artikulation zwischen Taluskopf und Naviculare gemeinsam. Allein zum Chopart gehört die Art. calcaneo-cuboidea, allein zum unteren Sprunggelenk der Anteil des vorderen unteren Sprunggelenkes unter dem Kopf und Hals des Talus (Artic. talo-calcanea praecanalia) und das hintere untere Sprunggelenk (Artic. talo-calcanea postcanalia). Für die Bewegung im Chopart ist, wenn wir den Hintertarsus als in sich starr ansehen, die Bewegung in der Articulatio calcaneo-cuboidea bestimmend, für die Bewegung im unteren Sprunggelenk bei starrer subtalarer Fußplatte die Bewegung zwischen Talus und Calcaneus. Die Bewegung zwischen Talus und Naviculare ist die Summe der Bewegungen des Calcaneus gegenüber dem Talus und gegenüber dem Kuboid.

4. Die Bewegung im oberen Sprunggelenk (Motus talo-cruralis).

Im oberen Sprunggelenk ist die Hauptbewegung eine Drehung des ganzen Fußes mit dem Talus um eine quer zur Längsrichtung des Unterschenkels von einer Seite zur anderen durch die Spitze des äußeren Knöchels und nahe unter dem inneren Knöchel vorbeiziehende Achse. Die Drehung, bei welcher sich der vor dem Gelenk gelegene größere Teil des Fußes gegenüber dem Unterschenkel hebt, wird naturgemäß als Beugung des Fußes, die entgegengesetzte Drehung als Streckung bezeichnet. Der vordere Winkel zwischen Fuß und Unterschenkel ist

die Fußbeuge. Der kleinere hintere Teil des Fußes, die Ferse wird freilich bei der Beugung des Fußes in eine mehr gestreckte, bei der Streckung des Fußes in eine mehr gebeugte Stellung zum Unterschenkel gebracht. Es ist aber nicht einzusehen, warum die Bezeichnungen Fußbeugung oder Fußstreckung vermieden werden sollten, wegen des Verhaltens der Ferse, oder weil ältere Autoren unrichtig die Dorsalbewegung des Fußes wie diejenige der Zehen als Streckung des Fußes, die Plantarbewegung als Beugung bezeichnet haben.

5. Der Bandapparat der Sprunggelenke.

Der Bandapparat des gemeinsamen Sprunggelenkes ist namentlich zu beiden Seiten des Sprungbeins mächtig entwickelt. Außen breitet er sich vom Ende des Malleolus lateralis bis zum Calcaneus, innen vom Malleolus medialis bis zum Calcaneus und zum Naviculare aus. Die mediale Bandmasse wird gewöhnlich als Lig. deltoides beschrieben; sie ist bedeckt vom Lig. laciniatum und dient ihm teilweise zur Anheftung; ferner dient sie als Unterlage für die Sehne des M. tibialis post. Wir müssen aber an dieser Bandmasse einen oberflächlichen, den Talus überspringenden Teil wohl von den tiefen Eigenbändern des oberen und der unteren Sprunggelenke unterscheiden und befürworten, daß nur der oberflächliche Teil als Lig. deltoides bezeichnet werde.

a) Der oberflächliche Bandapparat des gemeinsamen Sprunggelenkes.

Er erstreckt sich von den Malleolen bis zur subtalaren Fußplatte und besteht aus dem Lig. calcaneo-fibulare an der lateralen und aus dem Lig. tibio-calcaneo-naviculare (Lig. deltoides) an der medialen Seite.

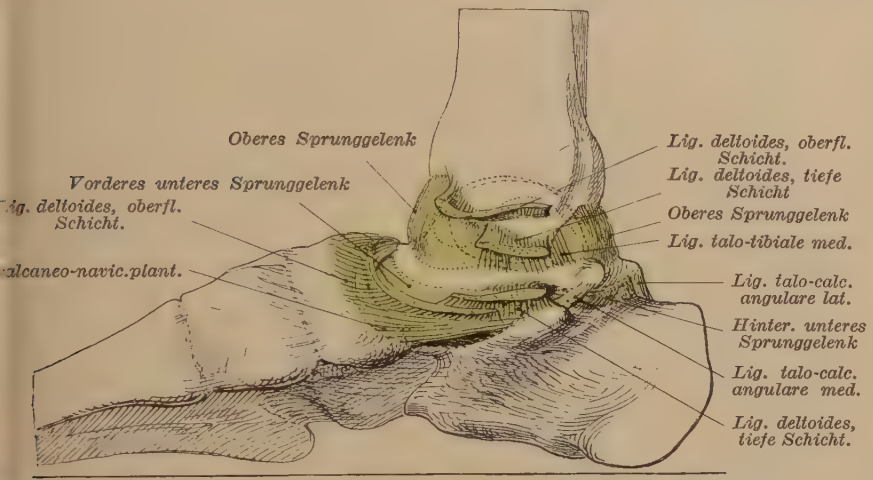
α') Das Lig. calcaneo-fibulare.

Es entspringt vorn an der Spitze des Malleolus lateralis (Schleimbeutel) und verläuft als runder, kompakter Strang, von den tiefen Bändern meist vollständig abgehoben abwärts und deutlich rückwärts zu einem Höcker der äußeren dorsalen Breitseite des Calcaneus. Die Peroneussehnen (P. longus und brevis) biegen von der Hinterseite des Malleolus lateralis her unter diesem Band resp. an seiner Außenseite vorbei nach vorn. Es gehört ebensowohl zum oberen als zum unteren Sprunggelenk.

β') Das Lig. tibio-calcaneum naviculare (Lig. deltoides).

Es entspringt breit am unteren Rande des medialen Knöchels und verläuft, sich noch weiter flächenhaft ausbreitend, zum Rand des Sustentaculum tali und des Lig. calcaneo-naviculare inferius (acetabulare) sowie mit bald schwächerem, bald stärkerem Faserzug auch zum Innenrand des Naviculare. Es gehört sowohl zum oberen als zu den unteren Sprunggelenken (insbesondere zum vorderen unteren Sprunggelenk). Der starke, kompakte, oberflächlich heraustretende Strang zum Sustenta-

ulum tali steigt steil (wenig medial- und rückwärts) ab und ist ca. cm breit. Ihm schließt sich vorn eine breite mächtige, hinten zweichichtige Faserplatte an, welche zum Rand des Lig. calcaneo-naviculare inf. und zum Außenteil des proximalen Randes des Naviculare inzieht. Letztgenannter Teil deckt hinten den zum Lig. acetabulare ehenden Teil; er entspringt etwas höher. Hinten schließt sich ein



ig. 108. Rechter Fuß, Kapseln und Bänder der Sprunggelenke von innen.

ehmaler und dünner Faserstreifen an, welcher den vordersten Teil es Außenrandes des hinteren unteren Sprunggelenkes zudeckt. Es mpfiehlt sich, das alles zusammen als Lig. deltoides zu bezeichnen. wischen ihm und den besonderen Kapseln und Eigenbändern der drei prunggelenke ist gewöhnlich ein deutlicher, mit weichem Gewebe gefüllter Zwischenraum vorhanden.

Funktion der gemeinsamen Sprunggelenkbänder.

Da auch die oberflächlichen, das Sprungbein überschreitenden Bänder wesentlich in der Achse der Talusrolle an den Malleolen entspringen, so ändern auch sie gleich den eigenen Seitenbändern ihre Spannung bei der Bewegung im oberen Sprunggelenk nicht wesentlich; ie sind Seitenbänder mit Bezug auf dieses Gelenk. Der vordere Teil es Lig. deltoides entspringt allerdings vor der genannten Achse und emmt deshalb die Streckbewegung des Fußes. Der vorderste Teil es Lig. deltoides überkreuzt die schräge Talo-calcaneus-Achse. Das Lig. alcaneo-fibulare aber ist annähernd nach dieser Achse hingerichtet, hne sie zu erreichen. Es muß vor allem die Spannung der mittleren nd hinteren Teile des Lig. deltoides durch die Bewegung zwischen Talus und Calcaneus wesentlich verändert werden, so daß diese Fasern

nur dann in höherem Maße zur Fixation des oberen Sprunggelenkes gegenüber seitlichen Einwirkungen mitwirken, wenn sie infolge der Stellungsänderung in den unteren Sprunggelenken (Pronation) gespannt sind. Im unteren Sprunggelenk aber (Motus talo-calcaneus) sind diese Teile wichtige Hemmungsbänder der Pronation.

b) Eigenbänder und anatomische Besonderheiten des vorderen unteren Sprunggelenkes.

Wie bereits oben hervorgehoben wurde, läuft die Ursprungslinie der Kapsel des vorderen unteren Sprunggelenkes der Ansatzlinie nicht parallel. Während die erstere in einer schräg nach innen vorn aufsteigenden Ebene den Hals des Talus umgreift, geht die Kapselansatzlinie vom Boden des Canalis tarsi aus entlang den beiden Seiten des Pfannenbodens (zu welchem wir die Gelenkflächen auf dem Sustentaculum tali und dem Processus anterior des Calcaneus, aber auch das Lig. calcaneo-naviculare acetabulare rechnen), in fast longitudinaler Richtung zum Naviculare; an diesem folgt dann allerdings der Kapselansatz in querem Verlauf dem inneren, oberen und äußeren Teil des proximalen Randes. Die Länge der Kapsel (Breite des Kapselringes) ist deshalb an verschiedenen Stellen verschieden. Ganz kurz im Canalis tarsi nimmt sie an den Seiten nach dem Naviculare hin zu. — Rechnet man das Lig. acetabulare noch zur Kapsel, so ergibt sich ein noch unregelmäßigeres Verhalten des Kapselringes.

Im Canalis tarsi verschmilzt die Kapsel des vorderen unteren Sprunggelenkes mit ihren Verstärkungen auf eine Strecke weit mit der vorderen Kapselwand des hinteren unteren Sprunggelenkes.

Nach den Angaben von R. Fick ist die Gelenkspalte über dem Sustentaculum tali mitunter vollständig durch eine niedrige Scheidewand von der übrigen Gelenkspalte des vorderen unteren Sprunggelenkes getrennt; oder es kann eine unvollständige Abtrennung durch eine von außen her einspringende Falte vorhanden sein. Auch beim Fehlen derselben kann die Sustentaculumgelenkfläche von derjenigen auf dem Processus ant. calcanei noch getrennt sein (häufigster Fall), oder endlich es hängen die beiden Gelenkflächen mehr oder weniger breit zusammen.

An der unteren Peripherie des Taluskopfes sind dagegen zwei getrennte Gelenkflächen nur im erstgenannten Fall vorhanden.

Wir können dem Vorgang von R. Fick, welcher die an der medialen Wand des Sinus tarsi zum Talus aufsteigenden Bandmassen als vorderen Teil des Lig. interosseum bezeichnet, dafür aber die im Sinus tarsi gelegene Verstärkung der Kapsel des hinteren Gelenkes vom Lig. intertarseum talo-calcaneum abtrennt und als Lig. talo-calc. anterius bezeichnet, nicht folgen.

Wollte man vom vergleichend-anatomischen Standpunkt aus das Band in der medialen Wand des Sinus tarsi als ein Lig. interosseum bezeichnen, so müßte dasselbe mit dem in seiner Hinterwand gelegenen Band geschehen. Unserer Meinung nach soll nur die im Canalis tarsi gelegene starke Bandmasse als Lig. intratarseum oder Lig. talo-calcaneum interosseum bezeichnet werden. Man kann sie stellenweise künstlich in eine hintere und in eine vordere Abteilung trennen (Lig. talo-calcaneum interosseum ant. und post.) und kann dann die erstere anatomisch dem vorderen, die zweite dem hinteren unteren Sprunggelenk zurechnen.

Demnach ein starkes breites Band mit rückwärts absteigenden Fasern, welches im engen Canalis tarsi versteckt ist, gerade noch im Grund des Sinus tarsi zutage tritt und dort mitunter wirklich in eine vordere und hintere Partie getrennt ist. Der sich an die vordere Partie anschließende, an der medialen Wand des Sinus tarsi von dessen Boden zu die Außenseite des Talushalses emporsteigende, breite, oft in mehrere Streifen und Schichten zertrennte Band aber (die vordere Portion des Lig. interosseum von R. Fick, das Lig. talo-calcaneum von Henle

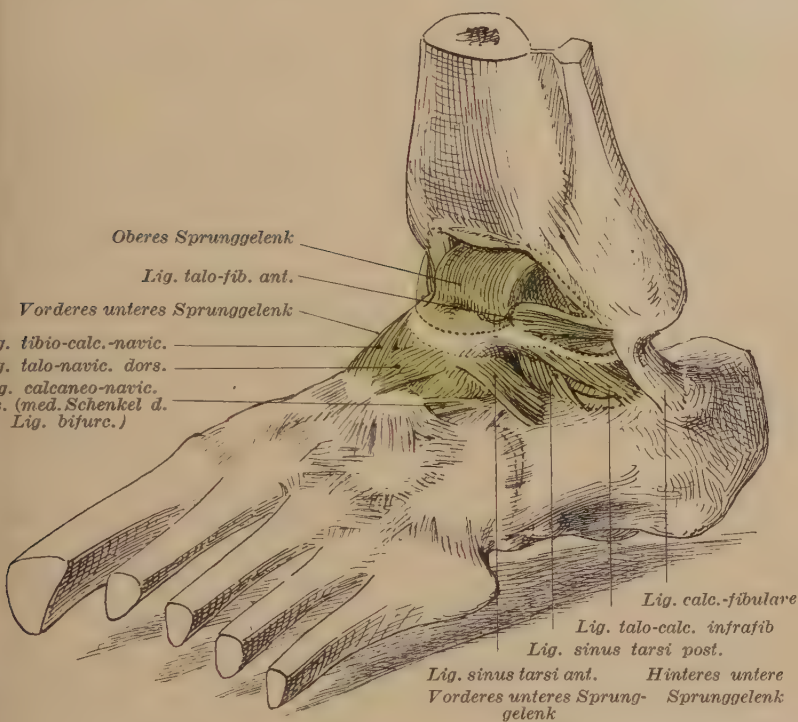


Fig. 109. Linker Fuß, Kapseln und Bänder der Sprunggelenke von oben außen vorn.

und H. v. Meyer) bezeichnen wir als Lig. sinus tarsi anterius (Lig. talo-calcaneum praecanalium laterale). Von den Bändern in der Hinterwand des Sinus tarsi ist es durch lockeres Zellgewebe und manchmal durch einen Schleimbeutel getrennt. Es erschlafft bei der Pronation zwischen Talus und Calcaneus, wenn das vordere Ende des Calcaneus unter dem Kopf des Talus vorbei dorsalwärts schwenkt, resp. der Taluskopf unter Auswärtsdrehung auf dem Calcaneusende plantarwärts gleitet; es spannt sich bei der Supination, bei welcher der Taluskopf unter Einwärtsdrehung nach dem Dorsum vordringt.

In ganz gleicher Weise verhält sich beim Motus talo-calcaneus das Lig. talo-naviculare dorsale, namentlich in seinen inneren Fasern, welche in der oberen Peripherie des Gelenkes vorwärts medialwärts ziehen und mit ihm eine vorn und hinten an der subtalaren Platte festgeheftete, über den Taluskopf hinübergehende, unterwegs an seinem Hals festgeheftete Halfter bilden, die natürlich das Dorsalwärtsrücken des Taluskopfes hemmen muß.

Äußere mehr direkt vorwärts tretende Fasern des Lig. talo-naviculare dorsale sind von Barkow als Lig. talo-naviculare rectum bezeichnet worden. Jedenfalls aber sollte man als Lig. talo-naviculare mediale ganz innen gelegene, stark schräg zum Rand des Naviculare unter der Talo-calcaneus-Achse vorbei distalwärts lateralwärts verlaufende Fasern abtrennen, welche unter dem zum Naviculare gehenden Anteil des Lig. deltoides gelegen sind und sich bei der Pronation anspannen. Übrigens ist diese gesamte mediale Faserung der Kapsel nur wenig kräftig, was darauf hinweist, daß die Pronation noch auf andere und wirksamere Weise gehemmt wird.

Während das Lig. sinus tarsi anterius bei der Bewegung zwischen Calcaneus und Vordertarsus nicht beteiligt ist, werden die Ligg. talo-navicularis, sowie das Lig. tibio-naviculare (d. h. der vordere Teil des Lig. deltoides) von derselben beeinflußt. Und zwar spannt sich das Lig. talo-naviculare dorsale bei der Pronation in der Articulatio calcaneo-cuboidea und erschlafft bei der Supination.

Andererseits wird das Lig. calcaneo-naviculare plantare s. acetabulare, obschon es ganz der subtalaren Platte angehört, durch den Motus talo-calcaneus beeinflußt, auch wenn damit eine eigentliche Pronation oder Supination in der Articulatio-calcaneo-cuboidea nicht kombiniert ist, indem durch Formveränderung des Vordertarsus das Naviculare innerhalb gewisser Grenzen von der oberen Seite des Calcaneus weg distalwärts gedrängt oder ihr genähert werden kann. Wir werden später genauer erörtern, daß sich bei der Pronation zwischen Talus und Calcaneus ein längeres Stück des Talus zwischen den Processus superior des Calcaneus und das Naviculare hineinschraubt, wodurch ganz besonders das Lig. acetabulare angespannt wird.

c) Eigenbänder und anatomische Besonderheiten des hinteren unteren Sprunggelenkes.

Als unterer Gelenkkörper muß der Processus superior calcanei betrachtet werden. Die von seiner vorderen inneren Abdachung gebildete Gelenkfläche hat ihre größte Ausdehnung von vorn außen nach hinten innen, in welcher Richtung eine deutliche Konvexität vorhanden ist. Senkrecht dazu, in Linien, welche einwärts zur Inzisur leicht absteigen, ist nur eine geringe Wölbung vorhanden.

Die gegenüberstehende, an der Unterseite des Taluskörpers etwas nach außen und hinten zu gelegene Gelenkfläche des Talus sieht im ganzen nach unten, außen und hinten und ist entsprechend der Konvexität der Calcaneusgelenkfläche ausgehöhlt, aber mit etwas flacheren Krümmungen. Ihre Ausdehnung in der Richtung der Hauptkrümmung ist namentlich etwas geringer als diejenige der unteren Gelenkfläche.

Dagegen überragt ihr unter der hinteren Talusecke gelegener Teil bei der Supination den hinteren Rand der unteren Gelenkfläche.

Der Rand der Gelenkfläche zerfällt in einen vorderen, tief und verteckt liegenden Teil, der hinter dem Boden des Sinus tarsi und hinten m Tarsalkanal von außen nach innen und etwas rückwärts läuft, und n einen hinten und innen herumlaufenden, der First des Proc. sup. alc. entsprechenden Teil, welcher innen unter dem Malleolus internus, inter dem inneren Ende des Canalis tarsi beginnt, unter der hinteren

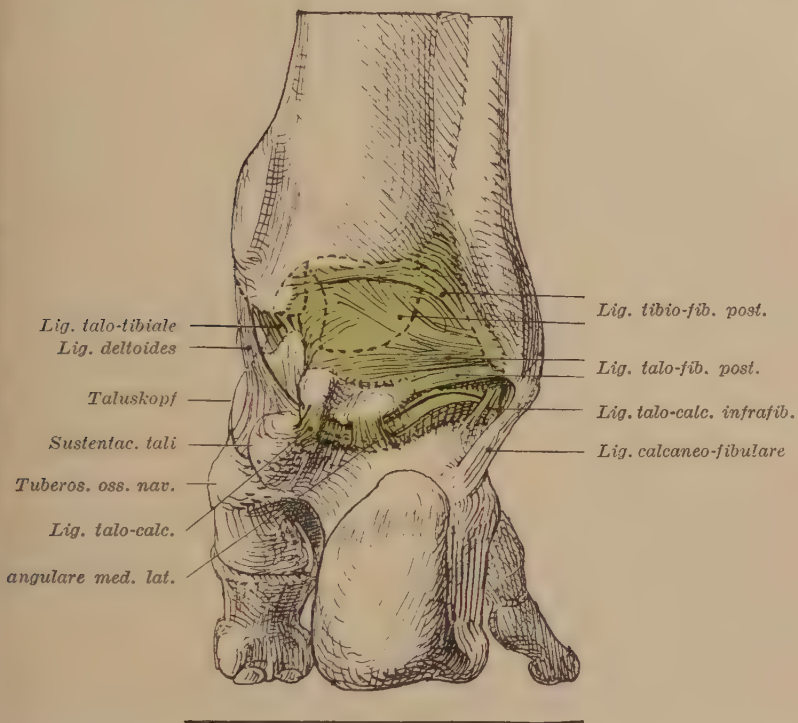


Fig. 110. Rechter Fuß, Kapseln und Bänder der Sprunggelenke von hinten gesehen.

Talusecke durch zum höchsten Punkt des Processus sup. calcanei nach außen aufsteigt und von da nach vorn außen, unter dem Malleolus ext. vorbei, zu dem des Sinus tarsi absteigt (s. Figg. 108—110).

Die Gelenkkapsel ist ein Ring- oder Röhrenstück, welches diesen Spaltrand umfaßt. Sie ist vorn mit letzterem unter dem Sprungbeinhals versteckt. Ursprung und Ansatz liegen hier nahe beisammen und nahe an den Rändern der Gelenkflächen, während in der Hinterwand des Sinus tarsi, namentlich am äußeren und hinteren Umfang des Gelenkes, wo die Exkursionen größer sind, die Anheftungslinien von den

Rändern der Gelenkflächen weiter abrücken. Hinter dem äußeren Knöchel vereinigt sich die Kapsel des hinteren unteren Sprunggelenkes eine Strecke weit mit derjenigen des oberen resp. mit dem Lig. talofibulare posterius (s. Fig. 110).

Die Nomenklatur der Bänder der unteren Sprunggelenke bedarf einer Revision. Da sowohl am vorderen als am hinteren Sprunggelenk beiderseits vordere und hintere Bänder vorhanden sind, so empfiehlt es sich, für einzelne derselben besondere Bezeichnungen nach der Umgebung einzuführen. So haben wir die im Sinus tarsi gelegenen Bänder als Lig. sinus tarsi anterius (prof., superf.) und als Lig. sinus tarsi post. unterschieden. Ferner schlagen wir vor, die an der hinteren Talusecke entspringenden Bänder als Ligg. angularia mediale und laterale zu bezeichnen. Die seitlich an der Talusrolle unter dem Malleolus lat. gelegenen Fasern können Ligg. infrafibularia genannt werden.

Danach unterscheiden wir am hinteren unteren Sprunggelenk folgende, wesentlich in die Gelenkkapsel eingelassenen Eigenbänder:

a′) Im vorderen äußeren Umfang des Gelenkes (in der Hinterwand des Sinus tarsi):

1. das Ligamentum Sinus tarsi posterius[1]), ein vertikales Band in dem Teil der Kapsel, welcher die Hinterwand des Sinus tarsi bildet. Es ist nicht besonders stark entwickelt.

2. Ein außen, hinter der vorderen lateralen Kante der Talusrolle gelegenes, ziemlich schwaches rückwärts absteigendes Lig. talocalcaneum infrafibulare[2]).

b′) Am hinteren inneren Umfang des Gelenkes in der Gegend der hinteren Talusecke:

3. Das vom Angulus tali auswärts zum oberen Schmalrand des Calcaneus verlaufende Lig. talo-calcaneum angulare (posterius s.) laterale[3]).

4. Das vom medialen Höcker des Angulus zum Sustentaculum tali fast horizontal nach vorn laufende Lig. talo-calcaneum angulare (anterius s.) mediale[4]). Beide Bänder sind schwach und mehr oder weniger künstlich aus Sehnenretinacula herausgeschnitten.

c′) Im engen Canalis tarsi, innen an der Vorderseite des Gelenkes:

5. Das Lig. talo-calcaneum interosseum posterius[5]), welches teilweise mit dem Lig. talo-calcaneum interosseum anterius des vorderen unteren Sprunggelenkes verschmolzen, teilweise durch eine Fettschicht, manchmal durch einen Schleimbeutel von ihm getrennt sein kann.

Da der Taluskörper um die hier tiefer unten im Calcaneus gelegene Achse bei der Pronation zwischen Talus und Calcaneus nach außen schwenkt und auf dem Processus sup. calcanei dorsalwärts gleitet,

---

[1]) Lig. talo-calcaneum anterius N.
[2]) Lig. talo-calcaneum laterale N.
[3]) Lig. talo-calcaneum post. der Autoren.
[4]) Lig. talo-calcaneum mediale superficiale horizontale R. Fick. Lig. talo-calcaneum mediale Henle.
[5]) Lig. talo-calcaneum mediale (interosseum post.) R. Fick.

o spannen sich das Lig. talo-calcaneum infrafibulare post. nd das Lig. angulare laterale bei der Pronation und hemmen sie.

Das Lig. sinus tarsi post. und das Lig. angulare mediale agegen spannen sich bei der gegenteiligen supinatorischen Be-egung und dienen als Hemmungsbänder für dieselbe.

d) Anatomische Besonderheiten des oberen Sprunggelenkes.

Gelenkcharakter.

Im oberen Sprunggelenk umfassen die Unterschenkelknochen lammerartig die Rolle des Talus. Sie bilden die Pfanne, die Talus-olle bildet den Kopf des Gelenkes. Dieses ist im wesentlichen ein charniergelenk mit Ginglymuscharakter. Nach dem Verhalten der elenkflächen und Bänder zu schließen, muß sich die Rolle des Talus nter kongruentem Gleiten in der Gabel des Unterschenkels um eine chse drehen, welche ihrer eigenen Mittellinie entspricht, unter dem meren Knöchel vorbei und durch die Spitze des äußeren Knöchels geht. abei gleitet die überknorpelte Mantelfläche der Rolle an der queren ndfläche der Tibia. Die seitliche Bewegung der Rolle in ihrer Längs-chtung ist durch die vorstehenden Malleolen verhindert. Der me-iale Knöchel gleitet bei der Drehung im Gelenk an der inneren basalen läche der Rolle auf einem der medialen Rollenkante folgenden, nach orn verbreiterten, überknorpelten Streifen, der laterale Knöchel gleitet n einem bis zur Achse reichenden und sich dabei in Form eines flachen egelmantels erhebenden dreieckigen Feld der äußeren Basalfläche der olle. Die beiden Rollenkanten nähern sich nach hinten einander.

Ist das obere Sprunggelenk ein Schraubengelenk? Von inem Schraubengelenkcharakter des oberen Sprunggelenkes beim enschen, wie ihn namentlich Langer angenommen hat, kann trotz es schrägen Verlaufes der lateralen Kante der Talusrolle nicht die ede sein, indem die mediale Randkante, die annähernd in querer bene zur Achse verläuft, in der Gabel der Unterschenkelknochen fest eführt wird. Der Talus vollführt also um diese Achse und auf die ibia keine Schraubenbewegung. Auch die Bewegung der Tibia gegen-ber dem ruhenden Talus ist keine Schraubenbewegung; wohl aber ann allenfalls die damit verbundene Bewegung des Malleolus lateralis egenüber dem ruhenden Sprungbein als eine solche bezeichnet werden.

Dagegen ist bei vierfüßigen Tieren der Schraubengelenkcharakter es oberen Sprunggelenkes mehr oder weniger deutlich und oft (nament-ich bei Huftieren, besonders beim Pferd) prachtvoll ausgeprägt (s. Pütz, Herm, Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Sprung-elenks. Diss. Bern 1876).

Kapsel und Eigenbänder des oberen Sprunggelenkes.

Der Kapselursprung folgt ungefähr den Rändern der überknor-elten Gelenkfläche der Pfanne. Vorn kann er bis $^1/_2$ cm vom Rand der queren Endfläche der Tibia nach oben abrücken. Der Kapselansatz

umgreift die Rolle. Vorn kann er sich nach R. Fick bis auf 1 cm vom vorderen Rand der Rollenfläche entfernen. Die Epiphysenlinie der Tibia liegt, so lange sie deutlich ist, außerhalb des Bereiches der Kapsel. Die tieferliegende Epiphysenlinie des Malleolus lateralis liegt näher dem Bereiche der Kapsel und erreicht die Nebenspalte des unteren Tibio-Fibulargelenkes.

Als Eigenbänder des oberen Sprunggelenkes kommen wesentlich nur die Seitenbänder in Betracht. Diese entspringen an den Malleolen möglichst nahe an der Achse und gehen divergierend zu exaxialen Punkten des Talus.

Das äußere Seitenband (Fig. 109 u. 110) zerfällt deutlich in zwei Teile, das Lig. collaterale talo-fibulare ant. und post. Das innere Seitenband ist einheitlich, mit überwiegend rückwärts absteigenden Fasern. Nur selten ist hier eine Sonderung in ein vorderes und in ein hinteres Band angedeutet.

Das Lig. (collaterale) talo-fibulare posterius ist stärker als das vordere äußere Band. Es entspringt unter dem äußeren Knöchel von seiner Innenseite nahe der Spitze des Knöchels, wo sich dieselbe von der Talusrolle abhebt, und zieht rückwärts und medialwärts zum hinteren Rand der lateralen Rollengelenkfläche und bis zum lateralen Höcker der hinteren Talusecke.

Das Lig. (collaterale) talo-fibulare anterius entspringt von der Mitte des Vorderrandes des über die quere Endfläche der Tibia vorragenden Teiles des lateralen Knöchels und zieht zur Mitte des Vorderrandes der lateralen Gelenkfläche der Talusrolle, vorwärts und etwas medialwärts und aufwärts.

Das Lig. (collaterale) talo-tibiale (Fig. 108) wird von manchen Autoren neuerdings zum Lig. deltoides gerechnet, was uns nicht zweckmäßig zu sein scheint (s. S. 218). Der Name Lig. deltoides bleibt besser für die oberflächlichen Faserzüge der Innenseite, welche den Talus überspringen und zugleich den unteren Sprunggelenken zugehören, reserviert. Man kann am Lig. talo-tibiale wohl manchmal einen vorderen schwächeren und einen hinteren stärkeren Teil, beide von etwas verschiedener Faserrichtung, unterscheiden. Meist aber ist eine deutliche Abgrenzung nicht vorhanden. Das Band nimmt seinen Ursprung in ziemlicher Ausdehnung am untern Rand des Malleolus medialis (während das zweigelenkige Lig. talo-calcaneo-naviculare seitlich am Malleolus entspringt). Seine Fasern ziehen etwas divergierend zum unteren Umfang des Feldes unter der medialen Rollengelenkfläche. Der hintere Teil ist enger, der vordere lockerer mit dem Lig. talo-calcaneo-naviculare (deltoides s. str.) verbunden, aber in der Regel auch hinten von ihm deutlich abgrenzbar.

Der Ursprung der Seitenbänder trifft nur zum kleinen Teil genau mit der Achse der Rotationsgelenkfläche zusammen. Deshalb bleibt die Spannung ihrer Fasern nicht völlig unverändert bei der Drehung. Es werden namentlich am inneren Seitenband die vorderen Fasern bei der Senkung des Fußes, die hinteren bei der Hebung stärker gespannt.

Die Ansatzstellen der Seitenbänder des oberen Sprunggelenkes bleiben vorn durch die ganze Breite der Talusrolle getrennt; hinten liegt zwischen ihnen wesentlich nur der Sulcus musculi flex. hall. lg. der hinteren Talusecke. Vorn und hinten liegt zwischen den Seitenbändern und Malleolen bis hinauf zum Rand der queren Endfläche der Tibia ein dünner Teil der Kapsel, der sich bei der Hebung des Fußes vorn zusammenschiebt und faltet und hinten spannt, während bei der Senkung des Fußes und Taluskopfes das Umgekehrte der Fall ist. Diese dünnen Kapselteile bilden den Abschluß der Gelenkhöhle gegen das vorn und hinten angehäufte fetthaltige Zellgewebe; sie sind zart und weich und von dem angrenzenden Zellgewebe nur künstlich als besondere Membran abzugrenzen, indem die Fettdurchwachsung bis zu den tiefsten Schichten geht. Vorn sind nach R. Fick lateralwärts absteigende, hinten medianwärts absteigende Verstärkungsfasern nachweisbar.

Das Lig. talo-fibulare post. ist ein sehr kräftiges Band. An seinem Ursprung ist es von oben und unten abgeplattet. Es sondert sich nach dem Angulus tali hin in zwei Streifen zur unteren und oberen Peripherie des lateralen Höckers der Talusecke. Die untere Fasermasse schließt sich dabei der Kapsel des hinteren unteren Sprunggelenkes an, untrennbar mit ihr verwachsend. Letztere Kapsel und diejenige des oberen Sprunggelenkes kommen also in diesem Band näher dem Malleolus zu fester Vereinigung und sind hier nur künstlich unter Spaltung des Ligamentes voneinander zu trennen.

Von der oberen Fasermasse strahlen Faserzüge ab, welche in aufwärts konkavem Bogen zum hinteren Rand der Tibiagelenkfläche aufsteigen und die sonst dünne hintere Kapselwand des oberen Sprunggelenkes verstärken. Ferner können sich vom hinteren Rande des Lig. talo-tibiale Fasern abzweigen, die gegen den obersten Teil des inneren Randes des fibularen Knöchels aufsteigen und sich mit den soeben genannten Faserzügen kreuzen.

Das hintere Kapselfeld, das hinter den beiden Knöcheln liegt, ist schon an sich etwas schmaler als das vordere. Es wird durch die Seitenbänder in größerem Umfang verstärkt und von Ausstrahlungen derselben durchzogen. Die größere Breite und geringere Verstärkung des vorderen Kapselfeldes ist vielleicht eines der Momente, welche die Luxation der Talusrolle nach vorn gegenüber derjenigen nach hinten begünstigen.

Der Bereich der hinteren dünnen Kapselwand wird auch noch durch das Lig. tibio-fibulare inf. post. verkleinert. Dieses Band gehört zur hinteren Begrenzung der Trennungsspalte zwischen den unteren Enden der beiden Unterschenkelknochen (Gelenkspalte des unteren Tibio-Fibulargelenkes). Es spannt sich vom hinteren Rande der queren Endfläche der Tibia zum Hinterrand des lateralen Knöchels hinüber.

Über verschiedene Besonderheiten der weichen vorderen und hinteren Begrenzung der Gelenkhöhle (Fettfalten, häufiges Auftreten von Synovialdivertikeln usw.) berichtet R. Fick.

Die an die hintere dünne Kapselpartie angrenzende Fettmasse setzt sich vor der Achillessehne nach oben fort, von Fasern durchzogen und von einer Fortsetzung der tiefen Faszie der Rückseite des Unterschenkels bekleidet. In diese Masse strahlt gewöhnlich die Sehne des M. plantaris aus, der dadurch zum Kapselspanner wird (R. Fick).

Zwischen dem Blätterwerk der hinten angrenzenden Fettmasse und dem eigentlichen Lig. talo-fibulare posterius eindringend, kann man versuchen, von letzterem Band eine besondere Kapselwand des hinteren unteren Sprunggelenkes abzuspalten. In der Regel ist solches aber nur auf künstliche Weise möglich, indem man Teile des eigentlichen Lig. talo-fib. post. abtrennt.

Bewegungsumfang im oberen Sprunggelenk.

Am Präparat ist die Exkursion beschränkt bei der Flexion durch das Anstoßen des Talushalses an den vorderen Pfannenrand, bei der Extension durch Anstoßen der Talusecke an den hinteren Rand der Pfanne. Beim Lebenden ist die Exkursion wohl etwas geringer. Der Unterschied in der Länge der Krümmungsbogen der Pfanne und des Rollenmantels beträgt ca. 40—50° (Pfanne 70—80°, Rolle 120°, R. Fick). Nicht viel größer ist der Betrag der maximalen Exkursion beim Lebenden. Bei horizontal aufgesetztem Fuß ist zwar eine Vorneigung des Unterschenkels aus der Vertikalstellung von ca. 30° und eine Rückneigung von etwa 45° möglich. Dabei kommt aber ein Teil der Exkursion auf Rechnung der Bewegung in den tieferliegenden Gelenken. Nach R. Fick ist aus der Normalstellung des Körpers (Braune und Fischer), bei welcher die Längsachse des Unterschenkels im rechten Winkel zu derjenigen des Fußes steht, eine Vorneigung der ersteren bis zur Bildung eines vorderen Winkels mit der Fußachse von 70°, also um den Betrag von 20° möglich, eine Rückbeugung aber bis zur Bildung eines vorderen Winkels von 120—140° (bei Ballettänzerinnen von 150°), also im Betrage von 30—50°. Die ganze Exkursion beträgt demnach 50—70 oder 80°.

Perimetrie der Bewegung in den Sprunggelenken.

Wird der Unterschenkel festgestellt, der subtalare Fußabschnitt, in sich versteift, mit einer Sohlenplatte verbunden und in der Fortsetzung der Mittellinie des Fußes ein Zeiger angebracht, so bewegt sich das Ende desselben annähernd in einer Kugeloberfläche, die um die Mitte des Talus herumgelegt ist. Ein größtes Kreisstück aus dieser Kugelfläche kann durch einen Rahmen dargestellt und an einer festen Achse, welche gegen den Mittelpunkt der Exkursionskugel gerichtet ist, drehbar befestigt sein. Die Drehungsachse entspricht der Lage der Fußmittellinie in einer bestimmten mittleren Stellung des Fußes. Am vertikal gestellten Rahmen lassen sich nun die Exkursionen der Dorsalplantarbewegung, am annähernd horizontal gestellten Rahmen die Exkursionen bei der Pronations- und Supinationsbewegung an einer Gradteilung abmessen. Die gefundenen Resultate können globographisch oder kartographisch registriert werden. Nach dieser Methode hat Hübscher die Exkursionen in den Sprunggelenken bei lebenden Individuen verschiedenen Alters

bestimmt und er hat dabei das bemerkenswerte Resultat gefunden, daß das Exkursionsgebiet mit zunehmendem Alter fortschreitend immer mehr eingeengt wird. In gewissen Altersperioden geht der Prozeß rascher vor sich, so zur Zeit des Abschlusses des Knochenwachstums. Durch ungewöhnliche Verzögerung desselben sollen relativ juvenile Formen entstehen, welche namentlich zur Bildung eines Knick- oder Plattfußes (s. u.) disponieren.

3) Die Tibio-Fibularverbindung.

Die Verbindung der Fibula mit der Tibia geschieht im größten Teil der Länge des Unterschenkels durch die Membrana interossea; das obere Ende der Fibula (Köpfchen) ist im oberen Tibio-Fibulargelenk mit der Tibia verbunden; zwischen dem unteren Ende der Fibula und der Tibia befindet sich das untere Tibio-Fibulargelenk.

1. Das untere Tibio-Fibulargelenk.

Es ist anatomisch und in gewisser Hinsicht auch vom mechanischen Standpunkt aus ein Annex des oberen Sprunggelenkes.

Die aneinanderstoßenden unteren Enden der beiden Unterschenkelknochen sind durch eine Gelenkspalte getrennt, welche mit der Höhle des oberen Sprunggelenkes kommuniziert. Streng genommen handelt es sich hier also nicht um ein selbständiges Gelenk im anatomischen Sinn und wäre es richtiger, nur von der „unteren Tibio-Fibularjunktur" zu sprechen.

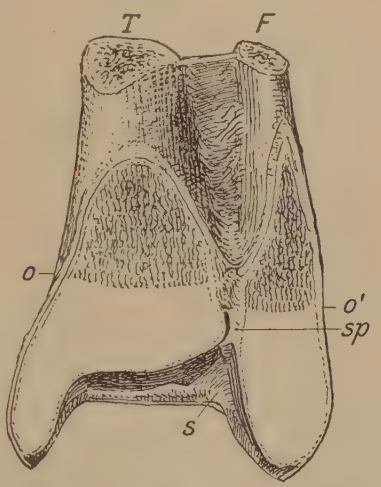


Fig. 111. Längsschnitt durch die untere Tibio-Fibularjunktur des Neugeborenen (r. Seite, vordere Schnittfläche). *T* Tibia, *F* Fibula, *oo'* Knochenknorpelgrenze, *S* Synovialfortsätze, *Sp* Synovialbelag der Fibula an der tibiofibularen Gelenkspalte.

Die Fibula legt sich mit ihrem bereits nach oben sich verjüngenden Teil in einen seitlichen Einschnitt der Ausladung des unteren Tibiaendes, der sich nach oben gegen die allmählich hervortretende Crista interossea tibiae hin rasch verschmälert und verflacht; sie füllt aber diese Rinne nicht genau und vollkommen aus und läßt namentlich hinten einen Teil frei für die Peroneussehnen. Nach oben zu hebt sie sich allmählich von ihrem Grund ab. Der hierdurch gebildete Zwischenraum ist von dem Lig. tibio-fibulare interosseum durchsetzt, das sich an die Membrana interossea unmittelbar anschließt und gleichsam eine namentlich nach hinten zu verdickte Fortsetzung derselben dar-

stellt. Seine Bündel verlaufen (wie diejenigen der Membrana interossea) vorzugsweise fibularwärts absteigend; doch sind auch umgekehrt schräggerichtete Faserzüge vorhanden. Die Bündel sind in der Tiefe vielerorts durch Fettgewebe getrennt. Die Gelenkspalte dringt von unten her nur eine verhältnismäßig kleine Strecke weit zwischen die beiden Knochen ein, und von den hier einander gegenüberstehenden Knochenflächen ist nur diejenige der Tibia, und zwar beim Erwachsenen nur in der kleineren Zahl der Fälle (1/5 nach Pfitzner 1891) überknorpelt. Die entsprechende Fläche der Fibula aber ist bloß von einer verdickten weichen Gewebsschicht (Gelenkintima, wie R. Fick sich ausdrückt) bekleidet. Nebenstehende Figur zeigt, daß dieses unterschiedliche Verhalten bereits beim Neugeborenen deutlich ausgeprägt ist. Vorn und hinten an der Junktur, im Anschluß an das Lig. interosseum, spannt sich zwischen Tibia und Fibula eine zusammenhängende, mächtige, ligamentöse Bandplatte aus, deren Fasern vorzugsweise fibularwärts absteigen (s. Figg. 109 und 110). Doch kreuzen sich mit solchen Fasern auch einige umgekehrt schräggerichtete Faserzüge. Die beiden Bandschichten können als Lig. tibio-fibulare inferius anterius und posterius bezeichnet werden.

2. Die Membrana interossea tibio-fibularis.

Die anatomischen Verhältnisse der Membrana interossea sind bereits von Henle richtig geschildert worden. Die Membran verbreitert sich, ebenso wie der Zwischenraum zwischen Tibia und Fibula allmählich nach oben und erreicht ihre größte Breite oberhalb der Mitte. Dabei verdünnt sie sich allmählich. Ihre Fasern verlaufen vorzugsweise steil fibularwärts absteigend. Doch sind auch umgekehrt schräg verlaufende Fasern stellenweise zu erkennen; sie scheinen mir wesentlich oberflächlich vorn und hinten anzuliegen und sich in ihrem Verlauf nach oben enger an die Hauptfaserlage anzuschließen; sie stehen offenbar in engeren Beziehungen zu den an der Membrana interossea entspringenden Muskelfasern, die vorzugsweise tibialwärts absteigen. Oben, dicht neben der Fibula, hat die Membran eine Lücke, durch welche die vorderen Tibialgefäße hindurchtreten. Vor derselben sehen wir zusammenhängende Sehnenblätter von unten und vornher in die Membran und an die vordere Peripherie des Fibulaköpfchens übertreten. Aus ihnen lassen sich scheinbar zur Membran gehörige fibularwärts aufsteigende Chordae obliquae herauspräparieren. Doch sieht man auch aus der Eigenfaserung der Membran vor der Lücke starke Bündel abbiegen und zur Fibula statt zur Tibia aufsteigen, wodurch gewissermaßen Sehnenbogen um die Lücke herum gebildet werden.

Die Membran setzt sich im allgemeinen an die Fibula nahe der vorderen Peripherie an, nur ganz oben springt die Fibula mit ihrem Köpfchen und im dritten Viertel der Länge mit einer scharfen Kante über das Niveau der Membran stärker vor. Dafür tritt die Fibula fast in ihrer ganzen Länge aus dem Niveau der Membran stärker heraus, und zwar unter Entwicklung einer hinteren inneren Kante in den mitt-

eren Abschnitten. Im ganzen zeigt der Fibulaschaft eine deutliche Ausbiegung nach hinten.

Funktionelle Struktur der Membrana interossea.

Der im wesentlichen fibularwärts steil absteigende Verlauf der Eigenfasern der Membrana interossea ist geeignet, einer Distalwärtsschiebung der Fibula an der Tibia Widerstand zu leisten und kann kaum auf andere Weise entstanden sein als durch Krafteinwirkungen, welche eine derartige Verschiebung bewirken. Man wird hier vor allem an Muskelkräfte und äußere Kräfte denken, welche den Fuß supinieren und den äußeren Fußrand nach innen drängen, unter Anspannung der äußeren Verbindungen mit dem fibularen Knöchel. Die entgegengesetzte Verschiebung, welche bei pronatorischer Einwirkung auf den Fuß und Andrängen desselben von unten und innen her gegen den lateralen Knöchel hervorgerufen wird, findet ein Hemmnis in dem Anstoßen des Fibulaköpfchens an der Ausladung der Tibia. Die Kräfte, welche die Fibula distalwärts ziehen, werden sie im allgemeinen auch von der Tibia weg nach außen ausbiegen. Auch diese Bewegung wird durch die schräg fibularwärts absteigenden Fasern der Membran gehemmt. Die Einwärtsbiegung, welche mit dem Andrängen des Fußes gegen den äußeren Knöchel verbunden ist, findet einen Widerstand in den Muskelmassen, welche vorn und hinten an der Membran zwischen Tibia und Fibula eingelagert sind.

3. Das obere Tibio-Fibulargelenk.

Das Fibulaköpfchen legt sich von unten der hinteren lateralen Ecke der oberen Ausladung der Tibia an. Die Trennungsfläche steigt nicht allzusteil nach hinten und außen auf. Auf Details der Konfiguration der einander gegenüber stehenden Gelenkflächen treten wir nicht ein. Es genügt, hervorzuheben, daß nur ganz unbedeutende Verschiebungen des Fibulaköpfchens gegen die Mittellinie der Tibia hin und von ihr weg, erstere mit etwas Senkung, letztere mit etwas Hebung verbunden, möglich sind, dagegen ausgiebigere Verschiebungen nach vorn und etwas außen und unten und entsprechende Rückbewegungen etwas nach innen und oben hin. Die Gelenkspalte ist in der Regel rings abgeschlossen. Die Kapsel ist durch Eigenfasern wesentlich nur an der vorderen und unteren Peripherie des Gelenkes, über und hinter dem Ende der Membrana interossea verstärkt, so dass wir besser neben einem Lig. tibiofibulare superius anterius (Lig. capituli fibulae anterius) ein Lig. capituli fibulae inferius (statt eines posterius) unterscheiden. Das erstgenannte Band ist ganz besonders kräftig. Es wird verstärkt durch die Einstrahlung der Bicepssehne, die sich oben in sichelförmigem Rand aus der Flucht der Kapsel heraushebt. Unmittelbar nach oben und einwärts davon, an der oberen Peripherie der Gelenkspalte ist die Kapsel weich und dünn im Anschluß an das verhältnismäßig lockere Gewebe, welches sich, bedeckt von der Bicepssehne bis zur Intima des Kniegelenkes

seitlich von der an der Circumferentia articularis der Tibia hinabgreifenden Gelenkspalte und zum Rand des Meniscus ausdehnt. Die Faserhaut der Kniegelenkkapsel unterhalb des Meniscus ist hier zunächst dünn und setzt sich wesentlich noch an der Tibia an. Erst weiter vorn erreicht sie die Kapsel des Tibio-Fibulargelenkes und das Fibulaköpfchen und wird nun mächtig verstärkt durch das laterale Seitenband des Kniegelenkes. Hier erfährt nun auch die Kapsel des Tibio-Fibulargelenkes durch Ausstrahlen von Fasern des Seitenbandes nach der Tibia hin etwelche Verstärkung. An der hintersten Peripherie der Gelenkspalte, unter dem Rande des M. popliteus, ist die Kapsel dünn. Dies ist die Stelle, an welcher sich unter dem genannten Muskel die Bursa synovialis poplitea des Kniegelenkes (s. u. S. 332) befindet und wo nicht ganz selten, namentlich in vorgeschrittenem Alter, eine Kommunikation der Gelenkhöhle des Tibio-Fibulargelenkes mit dieser Bursa und dadurch mit der Kniegelenkhöhle zustande kommt.

Noch sei bemerkt, daß die Bicepssehne sich breit wesentlich am äußeren Höcker des Fibulaköpfchens ansetzt und auch durch die vordere Peripherie des Gelenkes nach der Tibia zu ausstrahlt, während das laterale Seitenband nach innen davon in schmalerem Bezirk und im ganzen näher dem hinteren Höcker des Fibulaköpfchens angeheftet ist.

Man könnte vermuten, daß durch einen an der Spitze des Fibulaknöchels nach hinten wirkenden Zug das Fibulaköpfchen nach vorn gehebelt wird, während ein entgegengesetzt gerichteter Zug die Rückbewegung veranlaßt. Solches ist aber nicht der Fall. Wir sind deshalb genötigt, die tatsächliche Verschiebbarkeit im oberen Tibiafibulargelenk auf Kräfte zurückzuführen, welche von oben her einwirken. Es kommt hier vor allem die Einwirkung des M. biceps in Beugestellungen des Kniegelenkes in Betracht. Ferner sehen wir, daß das Fibulaköpfchen bei weitergehender Beugung des Kniegelenkes und bei stärkster Streckung das Fibulaköpfchen durch das sich anspannende laterale Seitenband etwas emporgezogen wird.

4. Federn der Malleolengabel.

Indem der schmälere hintere Teil der Talusrolle, der bei der Plantarstellung des Fußes zwischen den beiden Malleolen liegt, nur wenig schmäler ist als der Abstand der Malleolen bei engem Anschluß der Fibula an die Tibia, der vordere, breitere Teil der Rolle aber deutlich breiter ist als dieser Abstand, muß bei der Dorsalbewegung, bei welcher der breitere vordere Rollenteil zwischen die Malleolen einrückt, der äußere Malleolus von der Tibia abgehoben werden, unter federnder Anspannung der verbindenden Ligamenta tibio-fibularia inferiora. Wie zu erwarten, steht die der schrägen Außenseite der Talusrolle anliegende Gelenkfläche des äußeren Knöchels, wie diese selbst, schräg, so daß sich dementsprechend die quere Endfläche der Tibia nach vorn ebenfalls etwas verbreitert (2—3 mm nach R. Fick). Die Breite der Rolle beträgt nach R. Fick hinten 2,7—3,5 cm, vorn 3,2—4 cm.

Wenn bei der Senkung des Fußes der schmale Teil der Talusrolle der Gabel liegt, können sich Tibia und Fibula gerade bis zur Berührung sammenschließen unter Erschlaffung jener Ligamente. Die Talusrolle ist also in dieser Stellung weniger fest von der Malleolengabel faßt und kann durch seitlich und durch horizontal drehende Einirkungen etwas bewegt werden. Es handelt sich hierbei natürlich ir um atypische Nebenbewegungen, sog. Wackelbewegungen.

Bei der Beugestellung des Talus im Gelenk ist die federnde Anannung der tibio-fibularen Bänder so stark, daß am frischen Bänderäparat bei horizontaler Lage des Unterschenkels und Fußes und frei weglichem Fuß der letztere durch die Federkraft der Bänder in die reckstellung zurückgeführt wird.

Der von Henke (1857) angestellte Versuch besteht darin, daß man am inderpräparat den Unterschenkel vertikal, mit seinem Fußende nach oben festhält d den Fuß in Beugestellung absinken läßt. Drückt man nun beide Knöchel t zusammen, so erhebt sich der Fuß in die Streckstellung. Dieser Versuch lingt nach R. Fick nur, wenn die Membrana interossea entfernt ist, in welchem ll sich der äußere Knöchel noch enger in ganzer Länge bis zur Spitze auf die lusrolle anpressen läßt. Drückt man aber die Schäfte der beiden Unterhenkelknochen gegeneinander, so erfolgt zwar die Streckbewegung sehr prompt, helfen dann aber die durch Auswärtshebelung des lateralen Knöchels angeannten Ligamenta calcaneo-fibulare und talo-fibulare posterius, die etwas hinter r Drehungsachse liegen, zur Streckung mit (R. Fick).

An der lateralen Randkante der Rolle ist durch den Druck der auf ihr hleifenden Tibio-Fibularbänder vorn und hinten eine deutliche Abschrägungscette ausgebildet. Namentlich das hintere Band springt derb und weiter penartig nach der Lichtung der Gabel vor (s. o.).

Bei den horizontalen Nebendrehungen des Talus und Fußes drängt die Talusle abwechselnd auf der einen Seite vorn, auf der anderen Seite hinten gegen en betreffenden Malleolus und umgekehrt. Die Gebrüder Weber haben annommen, daß eine typische Nebenbewegung um eine durch den lateralen Knöchel hende Achse ausgeführt werden kann, und haben darin eine Analogie mit der ewegungsmöglichkeit des Unterschenkels im Kniegelenk (in der Beugestellung) efunden. H. Meyer hat die Ansicht vertreten, daß eine solche Drehung zwangsäßig mit der Beugungs- und Streckbewegung verbunden sei in der Weise, daß er Unterschenkel sich beim Vorpendeln gegenüber dem Fuß nach einwärts, beim urückgehen nach außen drehe. Kleine Längsdrehungen der Fibula sind jedenalls sowohl in dem oberen als im unteren Tibio-Fibulargelenk möglich.

D. Der Fuß als Ganzes. Änderung der Fußstellung und Fußform. Wirkungsweise der Kräfte zur Feststellung und Bewegung in den verschiedenen Gelenken des Fußes.

α) Übersicht über die an den Fuß hinsichtlich der aktiven und passiven Beweglichkeit gestellten Ansprüche.

Der Endteil der unteren Extremität des Menschen ist so gestaltet, daß er bei den verschiedensten Stellungen des Unterschenkels und bei verschiedener Beschaffenheit und Neigung der Bodenfläche der letzteren breit angelegt werden kann. Die Anlagerung kann federnd und unter Milderung des Stoßes erfolgen. Sie geschieht meist nicht mit einem Schlage im ganzen Umfang der Verbreiterung, sondern beginnt und vervollständigt sich von einem der Ränder her, ebenso wie die Abhebung sukzessive stattfinden kann (Abrollung). Über dem aufgesetzten Fuß kann der Körper innerhalb gewisser Grenzen fast nach Belieben vorwärts oder rückwärts oder zur Seite bewegt oder nach links oder rechts gedreht werden. Endlich ist dafür gesorgt, daß die genannten Stellungsänderungen des Fußes dem Unterschenkel und seinen Teilen gegenüber nicht bloß passiv, entgegen Widerständen der Skelettverbindung zustande kommen, sondern daß sie durch Muskelkräfte aktiv befördert und hervorgerufen oder gehemmt und verhindert werden können. Wie allen diesen Forderungen Genüge geleistet wird, soll zunächst untersucht werden.

1. Die Umstellung des Fußes im ganzen gegenüber dem Unterschenkel wird durch das obere Sprunggelenk vermittelt. Es erlaubt, den gehobenen Fuß zu beugen oder zu strecken, und gestattet dem Unterschenkel, über dem aufgesetzten Fuß nach vorn oder hinten zu pendeln.

Wenn die Bewegungsmöglichkeit im oberen Sprunggelenk zu Ende ist, oder wenn Unterschenkel und Fuß bei einer mittleren Stellung dieses Gelenkes durch Muskelanspannung miteinander versteift sind, führt die Vor- oder Rückbewegung des Beins und Unterschenkels über dem aufgesetzten Fuß zur Abrollung des letzteren, und zwar im ersten Falle zur Abrollung über die Zehen nach vorn, im zweiten Fall zur Abrollung über die Ferse nach rückwärts. Die Abrollung nach vorn beim Vorwärtspendeln des Beins über der Unterlage kann mit aktiver Streckung des oberen Sprunggelenkes, die Abrollung nach hinten kann mit aktiver Beugung des oberen Sprunggelenkes kombiniert und durch sie begünstigt sein

2. Die beiden unteren Sprunggelenke ermöglichen eine Stellungsänderung der subtalaren Fußplatte gegenüber dem Sprungbein und Unterschenkel, welche sich vorwiegend als eine Drehung um ihre Längsachse darstellt. Bei aufgesetztem Fuß aber gestatten diese Gelenke dem Unterschenkel, sich mit dem zwischen seinen Knöcheln eingeklammerten Talus nach außen oder nach innen zu neigen. Auch diese Bewegungen können aktiv zustande gebracht werden, und dementsprechend ist auch eine aktive Abrollung der Fußsohle der Breite nach gegen den äußeren oder gegen den inneren Fußrand hin möglich.

3. Eine Drehung des Sohlenteiles des Fußes gegenüber dem Unterschenkel um eine vertikale Achse resp. um die Längsachse des senkrecht zur Fußsohle gestellten Unterschenkels ist nur in beschränktem Umfang und wesentlich nur in den unteren Sprunggelenken als Begleiterscheinung der Längsrotation des Fußes möglich. Und zwar ist die Einwärtsrotation zwangsmäßig mit Abduktion, die Auswärtsrotation mit Adduktion kombiniert. Bei aufgesetztem Fuß handelt es sich um Ein- oder Auswärtsdrehung des mehr oder weniger vertikal gestellten Unterschenkels, erstere in Verbindung mit Auswärtspendeln, letztere in Verbindung mit Einwärtspendeln des Unterschenkels.

Alle die bis jetzt besprochenen Bewegungen geschehen wesentlich an den Sprunggelenken, deren Gesamtheit (gemeinsames Sprunggelenk) infolge davon eine ziemlich freie Beweglichkeit, wenn auch nicht diejenige eines Kugelgelenkes, sondern eher etwa diejenige eines Cardanus aufweist.

Der wichtige Zuschuß seitlicher Beweglichkeit zu der im oberen Sprunggelenk möglichen Beuge- und Streckbewegung beruht wesentlich auf den unteren Sprunggelenken, in welchen der vom Talus gebildete proximale Randteil des Fußes gegenüber dem übrigen, subtalaren Teil, der die Sohle bildet, in recht erheblichem Maße umgestellt resp. nach der dorsalen distalen und nach der plantaren proximalen Seite hin abgebogen werden kann. In beschränktem Maße und in übereinstimmendem Sinn beteiligt sich meist auch der Calcaneus an der Abbiegung des proximalen Endteiles gegenüber dem Vordertarsus, während der letztere mit den anschließenden mittleren Metatarsalia einen mehr starren mittleren Teil des Fußes darstellt.

4. Andererseits ist gegenüber diesem starren mittleren Teil der Fußsohle wieder der distale Endrand des Fußes umstellbar. Vor allem bildet der Zehenteil einen vielgliedrigen Randabschnitt, welcher gegenüber der Sohle passiv und aktiv abgebogen werden kann. Er hilft die Sohle vergrößern und ist vermöge der Zusammensetzung aus fünf getrennten und einigermaßen für sich beweglichen, gegliederten Strahlen besonders anpassungsfähig an die Unterlage. Er behält bei der Abrollung des Fußes den Kontakt mit dem Boden am längsten bei. So wie bei der Abrollung des Fußes nach vorn aktive Streckung des Fußgelenkes mitspielen kann, so können beim Übergreifen der Abrollung auf den Zehenteil die Zehen in den Metatarsophalangealgelenken aktiv plantarwärts bewegt und als Lokomotionshebel einzeln oder gemeinsam benutzt werden zur Unterstützung der Hebung hinterer Fußteile. Sie

werden so zu Werkzeugen, welche dem Körper mannigfaltige kleinere, nach Richtung und Größe fein abgestufte lokomotorische und äquilibristische Impulse zu erteilen vermögen. Die Strahlengliederung des Fußskelettes setzt sich über den Zehenteil hinaus rückwärts bis zur Fußmitte fort (Metatarsus). Die terminale Abbiegungsfähigkeit des Fußes erstreckt sich in beschränktem Maße auch noch auf das Gebiet des Metatarsus, indem namentlich die randständigen Metatarsalia gegenüber dem Vordertarsus etwas plantar- oder dorsalwärts bewegt werden können.

5. Eine weitere Formveränderlichkeit des Strahlenteiles des Fußes (Zehenteil und Metatarsus) beruht darin, daß seine Elemente seitlich bewegt, etwas auseinander gespreizt oder enger zusammengeschlossen werden können.

β) Der Zehenteil.

Die große Veränderlichkeit der Form des Zehenteils bietet vor allem für den bildenden Künstler Interesse. Die mechanischen Verhältnisse scheinen recht einfach zu sein. Doch ergeben sich bei genauerer Untersuchung mit Bezug auf die mechanischen Bedingungen der Feststellung und Bewegung manche interessante Probleme. Der umgestaltende Einfluß äußerer Umstände (unzweckmäßiges Schuhwerk u. dgl.) zeigt sich an den Zehen besonders augenfällig.

Es fehlt hier der Raum zur erschöpfenden Behandlung dieses Kapitels; wir beschränken uns auf einige Bemerkungen über die Haltung und Bewegung der Zehen in ihrer Beziehung zu der Haltung und Bewegung des übrigen Fußes.

Eine gesonderte und verschiedene Bewegung der einzelnen Zehen wird vor allem durch verschiedene äußere Einwirkung herbeigeführt. Beim Stand auf den inneren Zehen werden die letzteren dorsalwärts abgebogen, die äußeren Zehen aber bleiben dabei meist in ihrer gewöhnlichen mittleren Stellung; die äußersten stehen frei, sie können aber auch aktiv durch Plantarbewegung dem Boden näher gebracht sein. Beim Stand auf den äußeren Zehen handelt es sich umgekehrt um eine Aufbiegung der äußeren Zehen; die inneren behalten dabei, da sie länger sind, meist Fühlung mit der Unterlage. Naturgemäß neigen sich die Köpfchen der Metatarsalia im ersten Fall nach innen, im zweiten Fall nach außen (s. u.).

Die pronatorische oder supinatorische Schiefstellung der Metatarsalia ist in der Regel von einer etwas seitlichen Lage der dem Boden aufgesetzten Zehen begleitet. Doch bleibt die große Zehe wegen ihrer gestreckteren Form und größeren Breite und wegen der Möglichkeit ihrer Längsrotation im Metatarsophalangealgelenk dem Boden mehr unabhängig mit der Plantarseite aufgesetzt.

Mit der Benutzbarkeit der Zehen zur Verbreiterung der Sohlenfläche und ihrer genaueren Anpassung an die Unterlage steht in Übereinstimmung, daß wir beim Äquilibrieren des Körpers über einem Fuß unwillkürlich auch mit den Zehen fest auf die Unterlage

reifen. Dies gilt auch, wenn wir mit dem Fuß besonders festen Stand uchen zum Abstoß (Diskobol des Naukydes).

Passive und aktive Insuffizienz der langen Zehenbeuger. i gebeugtem Fuß lassen sich die Zehen in den Metatarsophalangeal- lenken und andeutungsweise auch die distalen Zehenglieder in den nterphalangealgelenken nicht so weit dorsalwärts bewegen als bei ge- recktem Fuß, während andererseits bei gestrecktem Fußgelenk die lantarbewegung der Zehenglieder nicht so weit durchgeführt werden ann als bei gebeugtem. Der Grund ist leicht einzusehen.

Über die Mitwirkung der Zehenaktion bei der Fortbe- egung, beim Gang, Lauf etc. ist folgendes zu bemerken. Bei der brollung des Fußes über die Zehen findet zunächst eine passive Dorsal- ewegung der Zehen statt. Dabei können die Zehenbeuger gespannt in zur guten Anpassung der Zehen an die Unterstützungsfläche. Daß e kurzen Muskeln der Planta sich spannen, läßt sich konstatieren; e langen Zehenbeuger werden schon deshalb aktiv beteiligt sein, weil ihre pannungszunahme zur Streckung des Fußes beiträgt. Ist die Körper- st über das Standbein hinübergewälzt, und steht dieses im Begriff, den oden zu verlassen, so vermindert sich rasch der gegen die Zehen wirkende nteil der Körperlast, sei es weil sie teilweise vom anderen Bein über- ommen wird, sei es weil dem Körper eine genügende Bewegung nach ben erteilt ist. Jetzt erst ist auch für die Zehen die Möglichkeit zur brollung unter Plantarbewegung in den Metatarsophalangeal- und nterphalangealgelenken gegeben und damit auch für die Zehenbeuger ie Möglichkeit, zur Hebung des Körpers oder wenigstens des Beins urch Aktion in den genannten Gelenken aktiv und arbeitsleistend bei- utragen.

Die Aktion kommt, wenn nicht der Hebung des ganzen Körpers it dem Rumpfe, so doch der Hebung des Unterschenkels und Knies ugute.

Es ist zu erwarten, daß erst in dieser Schlußaktion die Plantar- euger der Zehen ihre volle Tätigkeit entfalten. Insbesondere bemerken ir, daß beim Lauf und Sprung, im Moment bevor die Fußspitze den oden verläßt, die Zehen kraftvoll nach der Planta zu eingeschlagen erden.

Allzuenges und allzusteifes Schuhwerk beeinträchtigt naturgemäß ine derartige Beteiligung der Zehenbeugemuskeln.

Die Zehen bewegen sich am frei gehobenen Fuß infolge mangel- after Übung meist recht unbeholfen; kaum daß die große Zehe etwas ür sich allein bewegt werden kann. Spreizung und Zusammenschluß elingt meist nur, unkontrolliert oder bei darauf gerichteter besonderer bung, zugleich mit Plantar- oder Dorsalbewegung. Doch zeigt sich eine rößere Geschicklichkeit in der Verwendung der einzelnen Zehen bei enschen, welche kein beengendes Schuhwerk tragen und die Zehen bei llerhand Verrichtungen mitwirken lassen, und überhaupt bei speziell arauf hingerichteter Übung.

γ) Die Bewegung der Metatarsalia in der Lisfrancschen Gelenkzone.

a) Bewegungsmöglichkeiten. Natürliche Torsion des Metatarsus. Hypertorsion und Detorsion.

Im Zusammenhang mit der Abbiegungsfähigkeit des Zehenteils steht die Möglichkeit der Abbiegung der Randteile des Metatarsus. Sie beruht auf der Bewegbarkeit der Metatarsalia in der Lisfrancschen Verbindungszone. Diese Beweglichkeit ist fast gleich Null beim dritten Metatarsale. Sie nimmt nach dem inneren und äußeren Ende der Lisfrancschen Verbindung zu. Es handelt sich

a) um die Möglichkeit geringer seitlicher Verschiebung der Basen der Metatarsalia, verbunden mit stärkerer Bewegung der Köpfchen nach der gleichen Seite. Dementsprechend zeigen die Gelenkflächen namentlich an der Basis des ersten und fünften Metatarsale eine leichte Krümmung von einer Seite zur anderen mit distalwärts gerichteter Konvexität.

b) Um die Möglichkeit geringer dorsoplantarer Verschiebung der Basen der Metatarsalia im allgemeinen, verbunden mit stärkerer Bewegung der Köpfchen im gleichen Sinn. Dementsprechend finden wir eine distalwärts konvexe leichte dorsoplantare Krümmung der basalen Gelenkflächen. Am ersten Tarsometatarsalgelenk springt aber das erste Keilbein unten sperrzahnartig vor. Die dorsoplantare Bewegung geschieht hier wesentlich unter Mitnahme des ersten Keilbeins; häufig ist sogar zwischen dem ersten Keilbein und dem Naviculare die Verschiebbarkeit größer als zwischen dem ersten Metatarsale und dem ersten Keilbein (auch das zweite und dritte Keilbein zeigen die Möglichkeit dorsoplantarer Bewegung gegenüber dem Naviculare; eine dorsoplantare Krümmung der cuneo-navikularen Gelenkspalten mit distaler Konvexität tritt hier ebenfalls hervor). Dagegen ist die Möglichkeit der Längsrotation der Metatarsalia überall so ziemlich ausgeschlossen.

Bei aufrechtem Stand auf der Sohle und mittlerer Torsion der subtalaren Fußplatte sind die inneren Metatarsalia gegenüber der Ebene des Vordertarsus stärker plantarwärts gesenkt, so daß der innere Rand des Lisfranc gegenüber dem äußeren deutlich gehoben ist, während die Metatarsaliaköpfchen alle nebeneinander dem Boden aufruhen; ihre Seitenflächen stehen dabei vertikal (Fig. 112 B). Die Hauptebene des Vordertarsus steigt dann etwa in einem Winkel von 20—30° nach innen auf. Wird der Vordertarsus nach innen steiler aufgerichtet und sollen die Köpfchen der Metatarsalia nach wie vor mit der Unterlage in Berührung bleiben, so müssen die inneren Metatarsalia gegenüber dem Vordertarsus relativ gesenkt (plantarwärts bewegt), die äußeren müssen gehoben (dorsalwärts bewegt) werden. Dabei nehmen nun aber wegen der Auswärtsdrehung des Lisfranc die Köpfchen sämtlicher Metatarsalia (mit ihren Seitenflächen) eine nach auswärts geneigte Stellung an (Fig. 112 A).

Das Umgekehrte muß geschehen, wenn sich der Vordertarsus innen ...kt. Sollen hierbei die Köpfchen der Metatarsalia nebeneinander dem ...den aufliegend bleiben, so müssen sie innen relativ zum Vordertarsus ...oben, außen gesenkt werden. Dabei bekommen sie (mit ihren Seiten...chen) eine nach innen geneigte Stellung (Fig. 112 C).

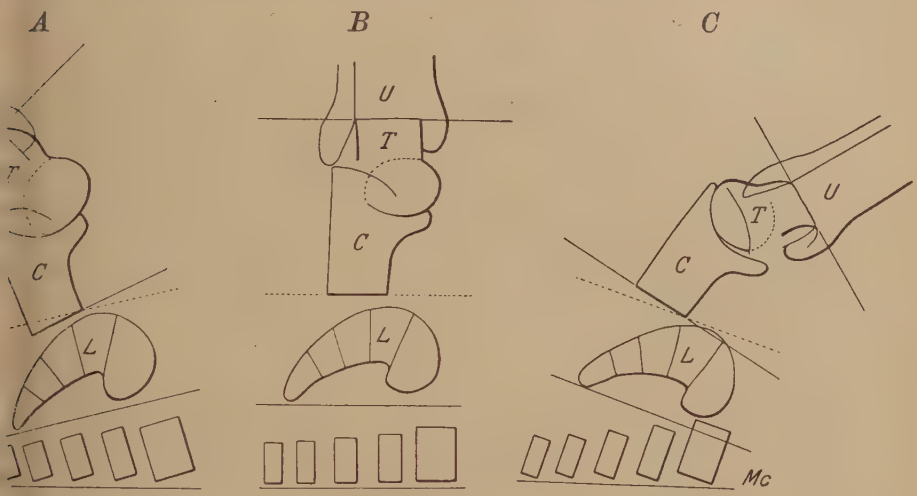


Fig. 112.

Torsion, Hypertorsion und Detorsion des ganzen Fußes. Verhältnisse beim Plattfuß und Hohlfuß.

Die in Fig. 112 A dargestellte vermehrte Torsion im Metatarsus ent...richt einer Einwärtsrotation der Metatarsophalangealgelenkzone gegen...ber dem Vordertarsus. Kommt nun dazu eine Pronation in den rück...ärts liegenden Gelenken, d. h. zwischen Vorder- und Hintertarsus (Articulatio calcaneo-cuboidea) und zwischen dem Calcaneus und dem ...alus im unteren Sprunggelenk, wobei es sich immer um eine Einwärts...otation des distalen Teiles gegenüber dem proximalen resp. um eine ...uswärtsrotation des proximalen Abschnittes gegenüber dem distalen ...andelt, so bekommen wir überall eine Vergrößerung der natür...chen Torsion des Fußes. Sind so die Köpfchen der Metatarsalia ...uswärts geneigt nebeneinander dem Boden aufgesetzt, so ist nicht bloß ...r Lisfranc steiler aufgerichtet, es muß auch der Calcaneus gegenüber ...em Vordertarsus auswärts rotiert und gegenüber dem Boden nach ...ußen geneigt sein. Der Talus endlich wird mit dem Unterschenkel ...nz stark nach außen gegen den äußeren Fußrand und den Boden ...ugelegt sein. Auf keine andere Weise bekommen wir eine so weit...chende totale Hypertorsion des ganzen Fußes.

Das Gegenstück hierzu bildet der Fall, in welchem zu der Ver...inderung der Torsion im Metatarsus (Fig. 112 C) eine Supination in den ...ückwärts liegenden Gelenken hinzukommt. Die Detorsion des Meta-

tarsus entspricht einer Auswärtsrotation der Metatarsophalangealgelenkzone gegenüber dem Lisfranc (Vordertarsus). Bei Supination zwischen Vordertarsus und Hintertarsus im Chopart ist ebenfalls eine Auswärtsrotation des vorderen Fußteiles gegenüber dem hinteren (resp. eine Einwärtsrotation der hinteren Abschnitte gegenüber ihren vorderen Nachbarn) im Spiel.

Bleiben die Köpfchen der Metatarsalia einwärts geneigt nebeneinander auf dem Boden, so stellt sich der Vordertarsus mehr horizontal als gewöhnlich. Der Calcaneus legt sich nach innen um, und noch mehr ist dies der Fall mit der Talusrolle und dem Unterschenkel. Die natürliche Torsion des Fußes ist auf der ganzen Linie vermindert. Auf keine andere Weise bekommen wir eine so weitgehende totale Detorsion des ganzen Fußes. Dies ist der wahre „Plattfuß" im anatomischen Sinne des Wortes, der aber nicht dem sog. Plattfuß der Chirurgen entspricht. Die beiden hier beschriebenen extremen Formen des total hypertorquierten und des total detorquierten Fußes sind natürlich nur herstellbar bei freier Ferse.

Plattfuß.

Der sogenannte „Plattfuß" (Pes plano-valgus) der Chirurgen ist etwas von dem Pes totaliter detorsus wesentlich Verschiedenes. Er ist charakterisiert durch eine Abflachung des Fußgewölbes, so daß beim aufrechten Stand die Sohle innen nirgends mehr hohl steht. Wir wollen hier nur die Anfangsstadien des sog. statischen Plattfußes ins Auge fassen, bei welchen es sich nicht um primäre Knochendeformation handelt und bei welchen es noch nicht zu einer tiefgreifenden Veränderung der verschiedensten Knochenelemente und Bänder gekommen ist. Dabei erscheint die Chopartsche Gelenkzone ganz besonders deutlich in ihrem inneren, dem Taluskopf und Naviculare entsprechenden Teil plantarwärts gegen die Unterlage verschoben.

Wie später noch genauer erläutert werden soll, ist der Vordertarsus innen gesenkt unter Detorsion des Metatarsus (Dorsalstellung der inneren, vielleicht auch Plantarstellung der äußeren Metatarsalia mit Einwärtsneigung der Köpfchen). Es beschränkt sich aber die Detorsion wesentlich nur auf diesen vorderen Teil der subtalaren Fußplatte. In der Articulatio calcaneo-cuboidea ist keine wesentliche Auswärtsrotation des Vordertarsus gegenüber dem Calcaneus vorhanden, indem sich der Calcaneus zusammen mit dem Vordertarsus nach innen umgelegt hat. Die Umstellung zwischen Calcaneus und Kuboid beschränkt sich wesentlich auf die Einknickung der Verbindungsstelle nach der inneren und teilweise auch nach der plantaren Seite hin. Zwischen Calcaneus und Talus aber ist nicht bloß keine Supination bemerkbar, es handelt sich vielmehr um Pronation, die mit Einwärtsrotation des distalen Stückes gegenüber dem proximalen oder mit Auswärtsrotation des proximalen Stückes gegenüber dem distalen verbunden ist. Die Talusrolle steht immer noch horizontal in der Gabel der aufrechtstehenden Unterschenkelknochen, während der Calcaneus sich nach innen umgelegt hat. Es hat sich beim Einsinken der Verbindungsstelle zwischen Calcaneus und Naviculare nach der Planta der Taluskopf tiefer in die Pfanne hinter dem Naviculare eingeschraubt. Bei dieser weitergehenden Pronation zwischen Talus und Calcaneus übernimmt also der Calcaneus die Drehung um die Längsachse des Fußes, der Talus aber senkt sich vorn und geht mit dem vorderen Ende nach innen; er übernimmt also den Drehungsanteil um die horizontale und um die vertikale, zum Fuß querstehende Achse.

Es handelt sich also bei dieser Art des Plattfußes nicht um einen total in allen Hauptgelenken, die bei der Torsion beteiligt sind, detorquierten Fuß, sondern um einen nur in seinem vorderen Teil (Metatarsus) detorquierten, in seinem hinteren

Teil aber durch die Pronation zwischen Calcaneus und Talus stärker torquierten Fuß. An der Articulatio calcaneo-cuboidea halten sich die beiden Einflüsse ungefähr die Wage. Wegen der stärkeren Ausladung der Verbindung zwischen Talus und Subtalarplatte nach innen kann man nach Analogie des Genu valgum (X-Beine) von einem Pes valgus sprechen, wegen der Abplattung der Fußsohle und der Detorsion des vor dem Chopart gelegenen Abschnittes von einem Pes planus. Noch genauer als der Name Pes plano-valgus wäre die Bezeichnung Pes antice planus s. detorsus postice valgus (s. pronatus).

Hohlfuß.

Das Gegenstück zu dem Pes plano-valgus ist, wie erwähnt, der Pes cavo-varus, der Hohlfuß in seinen Anfangsstadien. Er zeigt vorn im Metatarsusteil vermehrte Torsion. Bei nebeneinander dem Boden aufruhenden (auswärts geneigten) Köpfchen der Metatarsalia sind Lisfranc und Vordertarsus innen stärker gehoben und steiler aufgerichtet. Die Talusrolle steht aber horizontal zwischen den vertikal aufgerichteten Unterschenkelknochen. Der Calcaneus muß also ebenso wie der Vordertarsus gegenüber dem Talus supiniert und nach außen umgelegt sein. In der Articulatio calcaneo-cuboidea ist von einer Einwärtsrotation des vorderen Gelenkkörpers gegenüber dem hinteren so gut wie nichts zu bemerken. Hier haben wir also im vorderen Teil der Fußplatte Vermehrung, hinten Verminderung der natürlichen Torsion. Die Höhlung des Fußgewölbes ist vergrößert. Der Fußrist und die Gegend des unteren Sprunggelenkes sind stärker nach außen ausgeladen und durchgedrückt. Man spricht von einem Pes cavus wegen der erstgenannten Veränderung und von einem Pes varus, nach Analogie mit dem Genu varum (O-Beine), wegen der zweitgenannten Erscheinung. Genauer wäre der Ausdruck: Pes postice varus (supinatus s. detorsus), antice torsus.

δ) Durchbiegungsmöglichkeit im Vordertarsus.

Der Vordertarsus ist nicht absolut starr. In seiner inneren Hälfte, die quergegliedert ist, kann sich in longitudinaler, dorsoplantarer Ebene eine Durchbiegung geltend machen, und zwar entweder mehr im Sinn einer Annäherung der Elemente aneinander an der dorsalen resp. plantaren Seite und eines geringen Auseinandertretens an der entgegengesetzten Seite, oder mehr im Sinn einer Scherung unter Verschiebung der Elemente aneinander in den fast planen Gelenkspalten. In beiden Fällen müssen natürlich kleine Verschiebungen zwischen dem Kuboid und seinen inneren Nachbarn vorkommen. Auch in queren Ebenen kann sich eine quere Biegungsbeanspruchung in geringen Verschiebungen geltend machen. Am ausgiebigsten ist die Formveränderung bei Durchbiegung in schrägen, dorsoplantaren Ebenen, namentlich wenn das Kuboid hinten niedergedrückt und gedreht, der innere Fußrand vorn (erstes Keilbein) relativ nach oben gedrängt wird. Es setzt sich nun gleichsam die Aufbiegung des inneren Teiles des Metatarsus in den Vordertarsus hinein fort. Davon wird später noch genauer die Rede sein. Endlich können Naviculare und hinteres Ende des Kuboides, das mit dem Calcaneus verbunden ist, auseinandergedrängt werden, wenn der Talus sich breiter zwischen Calcaneus und Naviculare einzwängt. Der Vordertarsus stellt dann gleichsam einen hinten offenen federnden Ring dar.

ε) Wirkung der Kräfte zur Feststellung und zur Bewegung im Chopart.

Trotz der oben erörterten Verhältnisse dürfen wir den Vordertarsus als das annähernd starre Mittelstück des Fußes betrachten. Es gehört also die Verbindung zwischen Vorder- und Hintertarsus (Chopartsche Junktur) mit der Articulatio calcaneo-cuboidea bereits in das Gebiet des biegsamen proximalen Randteils. Die Verschiebungen in dieser Junktur bilden einen Teil der Durchbiegung des proximalen Fußendes.

Bedingungen der Feststellung. Für die Feststellung dieser Junktur gelten die im Allgemeinen Teil (S. 144 u. ff.) erläuterten Bedingungen. An jedem der beiden Körperstücke, welche durch die betreffende Junktur getrennt sind, müssen sich alle von außen auf das Stück einwirkenden Kräfte Gleichgewicht halten. Es sind das für jedes Stück 1. die an ihm selbst angreifenden äußeren Kräfte, soweit sie äußere Kräfte für das ganze System sind, 2. die in der Junktur vom Rest des Körpers her auf das betreffende Stück einwirkenden Kräfte. Außerdem müssen natürlich am ganzen Körper die von außen einwirkenden Kräfte miteinander im Gleichgewicht sein. Lassen sich die an dem Vorderstück direkt angreifenden äußeren Kräfte durch eine an demselben angreifende Resultierende von bestimmter Kraftlinie, Richtung und Größe ersetzen, so müssen auch die auf das Hinterstück einwirkenden äußeren Kräfte des ganzen Systems eine Resultierende haben, deren Größe und Kraftlinie dieselbe ist, während die Richtung der Einwirkung entgegengesetzten Sinn hat.

Für das vor dem Chopart gelegene Fußstück kommen von äußeren Kräften beim aufgesetzten Fuß in Betracht:

1. Der von der Unterlage her einwirkende Widerstand.
2. Der Anteil Schwerkraft, der auf dieses Stück einwirkt.

Letztere Einwirkung kann zunächst vernachlässigt werden.

Im Allgemeinen Teil wurde gezeigt, wie die vom Unterschenkel her auf den Fuß einwirkenden Kräfte, welche dem Widerstand des Bodens gegen den Fuß Gleichgewicht halten, allemal dann, wenn die Kraftlinie des Widerstandes vor dem Sprunggelenk liegt, durch mindestens zwei Kräfte repräsentiert sein müssen, von denen die eine als Druck auf die Talusrolle nach unten wirkt, während die andere hinter der Talusrolle angreift und aufwärts gerichtet ist.

In ähnlicher Weise müssen die vom Hintertarsus durch die Chopartsche Verbindungszone auf den Vorderfuß wirkenden Kräfte, welche dem am Vorderfuß nach oben wirkenden Widerstand Gleichgewicht halten, durch mindestens zwei Kräfte repräsentiert sein. Und zwar kann es sich in Anbetracht der quer zum Fuß verlaufenden Trennungsebene nur um eine in mehr dorsal gelegener Kraftlinie nach vorn unten gerichtete Druckkraft und um einen in mehr ventral gelegener Kraftlinie nach hinten gerichteten Zug handeln. Letzterer kann bei bloßer Skletthemmung nur durch den Zug der plantaren Bänder, bei Mitwirkung der

plantaren Muskeln eventuell auch durch die Spannung dieser Muskeln gegeben sein. Für den Fall der Feststellung des Fußes im Chopart müssen diese zwei Kräfte mit der Resultierenden des vorderen Widerstandes in der gleichen Ebene gelegen sein. Nun liegt die Hauptmasse der Bänder zwischen dem Vorder- und Hintertarsus plantar, sie geht vom Calcaneus aus, und es sind namentlich ihre kürzeren, strafferen Fasern im Mittel vorwärts und etwas nach der großen Zehe hin gerichtet. Die stärkste Partie liegt unter den einander benachbarten proximalen Teilen des Kuboides und des Naviculare. Sie allein ist in einer mittleren Stellung des Chopart (der Articulatio calcaneo-cuboidea), von welcher aus eine kleine pronatorische oder supinatorische Drehung des Vordertarsus gegenüber dem Hintertarsus möglich ist, gespannt.

Eine solche Bewegung aus der Mittelstellung heraus ist, wie bereits bemerkt wurde, durch den Zug der Bänder und den Druck des Hintertarsus gegen den Vordertarsus über ihnen nur dann verhindert, wenn der Widerstand des Bodens gegen die Vordersohle in der Ebene dieser Kräfte, also gegen die schräge Calcaneo-Kuboid-Achse hin gerichtet ist.

Wo solches nicht der Fall ist, findet Pronation oder Supination zwischen Vorder- und Hintertarsus statt, bis in der Verbindung beider auch noch genügende Widerstände gegen die pronatorische oder supinatorische Komponente des Widerstandes wachgerufen sind.

Man denke sich den Angriffspunkt des resultierenden Widerstandes des Bodens an dem vor dem Chopart gelegenen Vorderstück des Fußes ebenso wie die Angriffspunkte der beiden vom Hintertarsus her auf das Vorderstück einwirkenden Kräfte in der Richtung der betreffenden Kräfte bis in eine Ebene verlegt, welche senkrecht zu der Calcaneo-Kuboid-Achse durch den starr gedachten Vorderfuß geht. Im Falle der Feststellung liegen die neuen Angriffspunkte in der Geraden, in welcher die Kraftebene der drei Kräfte jene Querebene schneidet. Zerlegt man nun jede der Kräfte in die Komponente parallel zur Achse und in die Komponente, welche in die Querebene entfällt, so wirken nur die letzteren Komponenten drehend um die Achse des Chopart. Sie müssen sich Gleichgewicht halten, da auch ihre statischen Momente mit Bezug auf eine solche Achse im Gleichgewicht sind. Es müssen dann aber auch ihre Komponenten parallel der Achse miteinander im Gleichgewicht sein.

In ähnlicher Weise muß Gleichgewicht bestehen zwischen den drei Kräften, deren Angriffpunkte in eine dorsoplantar durch die Calcaneo-Kuboid-Achse gehende Ebene verlegt sind, hinsichtlich der drehenden oder biegenden Wirkung parallel dieser Ebene, und ebenso hinsichtlich der Einwirkung parallel einer vom inneren zum äußeren Fußrand durch jene Achse gelegten Ebene, überhaupt bezüglich irgend einer Achsenebene. Man verlegt die Angriffspunkte der Kräfte in diese Ebene und bestimmt die Richtung und Größe der Projektion der durch Linienmaß ausgedrückten Kraftgröße in dieser Ebene. Die drei so gefundenen Kräfte stellen die Einwirkung parallel dieser Ebene und gegenüber irgend einer dazu senkrecht stehenden Achse dar (vgl. das Projektionsverfahren II. Bd., S. 392).

Es darf nicht vergessen werden, daß eine der beiden vom Hintertarsus her wirkenden Kräfte (gewöhnlich die obere Druckkraft) durch den Talus, die andere Kraft aber durch den Calcaneus hindurch wirken kann, während die umgekehrt gerichteten, vom Vorderfuß her einwirkenden Kräfte teils vom Calcaneus, teils vom Naviculare her auf den Talus einwirken.

ζ) Bewegung und Feststellung in den unteren Sprunggelenken bei aufgesetztem Fuß.

1. Motus talo-calcaneus.

Soweit die Bewegung zwischen dem Talus und der subtalaren Fußplatte durch die Gelenkverbindung zwischen Talus und Calcaneus beherrscht ist, handelt es sich um eine Drehung um die schräge Talo-Calcaneus-Achse. Diese Bewegung erscheint bei festgestelltem Unterschenkel und freiem Fuß als eine bestimmte Kombination von Abduktion, Extension und Einwärtsrotation (Pronation) resp. von Adduktion, Senkung und Auswärtsrotation (Supination) der subtalaren Fupßlatte. Man muß sich aber auch klar machen, wie sich die gleiche Gelenkbewegung bei aufgesetztem Fuße darstellt.

Über dem mit ganzer Sohle dem Boden aufruhenden Fuß kann der Unterschenkel nicht bloß vor- oder rückwärts, sondern auch nach innen oder außen pendeln. Bei letzterer Bewegung wird aber der Talus vom Unterschenkel mitgenommen, die Bewegung geschieht wesentlich in den unteren Sprunggelenken. Sehen wir von der damit verbundenen Formveränderung der subtalaren Fußplatte einstweilen ab und nehmen wir an, daß diese Platte völlig unbeweglich dem Boden aufruht, so ist die mögliche seitliche Bewegung einzig durch die Gelenke zwischen Talus und Calcaneus bestimmt. Der Fuß sei so gestellt, daß die schräge Talo-Calcaneus-Achse in der Sagittalebene von hinten nach vorn aufsteigt, wie dies bei vorn etwas auseinanderstehenden Füßen der Fall ist. Der Unterschenkel müßte sich nun bei völlig starrer Verbindung mit dem Talus um diese Achse in einem Kegelmantel bewegen, und zwar aus der hintersten resp. obersten Seitenlinie desselben einwärts oder auswärts und zugleich nach vorn unten herum. Dabei müßte immer die gleiche Seite des Knochens der Achse zugewendet bleiben. Die Vor- und Rückbewegung des Unterschenkels, welche sich aus seiner Bewegung mit dem Talus in den unteren Sprunggelenken ergibt, kann nun durch eine entgegengesetzte Bewegung des Unterschenkels gegenüber dem Talus im oberen Sprunggelenk maskiert sein. Es bleibt dann nur die Auswärtsbewegung, verbunden mit etwas Einwärtsrotation resp. die Einwärtsbewegung, verbunden mit etwas Auswärtsrotation sichtbar, während vom Talus die ganze Bewegung um die schräge Talo-Calcaneus-Achse ausgeführt wird. Beim Auswärtspendeln des Beines über dem Fuß neigt sich natürlich der Talus mehr und mehr nach außen; seine Längsachse stellt sich mehr schräg nach vorn und innen zu den Längsrändern der subtalaren Platte, was einer Abduktion der letzteren gegenüber dem Unterschenkel entspricht. Der Taluskopf rückt gegen den inneren Rand der subtalaren Platte und plantarwärts; der Körper aber gleitet auf dem Processus superior calcanei lateral- und dorsalwärts. Das Umgekehrte in allen Beziehungen geschieht bei dem Zurückpendeln des Unterschenkels nach innen.

2. Mitbewegung in der Articulatio calcaneo-cuboidea und Motus talo-navicularis.

In Wirklichkeit ist nun die subtalare Platte, welche die Unterlage für den Talus liefert, kein starres Ganzes. Vielmehr ändert der Calcaneus gegenüber dem Naviculare mit dem Vordertarsus und Kuboid je nach Umständen seine Stellung, wobei auch die Pfannenfläche unter dem Talus ihre Gestalt ändert. Dadurch werden die Bedingungen der Bewegung und Bewegungshemmung zwischen Talus und subtalarer Fußplatte modifiziert und von der Stellung und Beweglichkeit des Calcaneus gegenüber dem Vordertarsus (Naviculare) abhängig gemacht. Was speziell die Bewegung zwischen Talus und Naviculare betrifft (Motus talo-navicularis), so ist sie das Resultat zweier Bewegungen:

1. Der Bewegung, welche der Talus mit dem Calcaneus gegenüber dem Vordertarsus und Naviculare im Chopart vollführt,

2. der Bewegung, welche der Talus gegenüber dem Calcaneus (und auch gegenüber dem Vordertarsus und Naviculare, wenn sie mit dem Calcaneus starr verbunden gedacht sind) im unteren Sprunggelenk ausführt. Von den kleinen Verschiebungen zwischen Kuboid und Naviculare sehen wir bei dieser Betrachtungsweise ab.

Es ist nun vor allem wichtig, sich die verschiedenen Möglichkeiten der Art und Weise, wie sich diese beiden Bewegungen miteinander kombinieren können, klar zu machen, unter Berücksichtigung der dabei wirksamen Kräfte.

Wir gehen auch hier wieder am besten aus von dem Fall, in welchem der Fuß dem Boden aufgesetzt ist. Die eine extreme Art der Inanspruchnahme ist gegeben, wenn der vor dem Chopart an der Vordersohle angreifende Widerstand gegenüber der schrägen Calcaneo-Kuboid-Achse ein pronierendes oder auch ein supinierendes Moment hat, während die Resultierende des an der ganzen subtalaren Platte angreifenden Widerstandes eine entgegengesetzt gerichtete drehende Einwirkung gegenüber der schrägen Talo-Calcaneus-Achse besitzt. Die andere extreme Art der Inanspruchnahme aber liegt vor, wenn die Widerstände an der Sohle beiden Achsen gegenüber gleichen Sinn haben.

a) Gleichsinnige Bewegung in den beiden Junkturen um die beiden schrägen Achsen. Talus-Exzenter. Form der Pfanne am Naviculare.

Eine pronatorische Feststellung des Fußes zwischen Talus und Calcaneus mit wirklicher Pronation des Vorderfußes im Chopart wird vor allem zustande kommen beim Stand auf dem äußeren Teil der Vordersohle (äußerer Zehenstand) mit mehr oder weniger weit vom Boden abgehobener Ferse, oder wenn überhaupt das Bein in einer außen an der schrägen Calcaneo-Kuboid-Achse vorbeigehenden Linie mit dem äußeren Teil der Vordersohle gegen den Boden drängt. Annähernd in gleicher Weise festgestellt ist der Fuß auch, wenn sich das Standbein nach vorn und außen abrollt und von innen hinten nach vorn

außen über den Fuß hinüberwälzt. In diesen Fällen ist kein Widerstand des Bodens an der Ferse vorhanden. Der vordere Widerstand, der im Chopart proniert, ist um so mehr pronatorisch mit Bezug auf die Talo-Calcaneus-Achse. Die zwei Kräfte, welche vom Talus und Unterschenkel her gegen den subtalaren Teil und ebenso die zwei Kräfte, welche vom Hintertarsus und Unterschenkel her auf den Fußteil vor dem Chopart wirken und welche je für sich dem am betreffenden Vorderstück angreifenden vorderen Widerstand Gleichgewicht halten, liegen je zusammen mit der Kraftlinie des vorderen Widerstandes in Ebenen, welche mehr oder weniger vertikal und von hinten innen nach vorn außen verlaufen und die schräge Talo - Calcaneus - Achse schneiden.

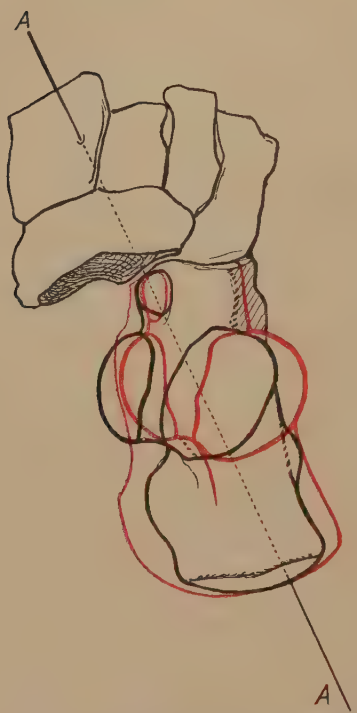


Fig. 113. Stellung des Calcaneus zum Vordertarsus bei der Pronation (rote Konturen) und bei der Supination (schwarze Konturen) des Vorderfußes um die schräge Calcaneo-Kuboid-Achse.

Die Feststellung des oberen Sprunggelenkes geschieht dabei meist in Mittelstellungen, unter Mitwirkung von Muskeln (z. B. des Triceps surae, s. u.), welche gegenüber der Talo-Calcaneus-Achse supinieren. Das supinierende Moment dieser Muskeln ist aber relativ gering im Vergleiche zu dem streckenden Moment am oberen Sprunggelenk. Sie können den pronatorischen äußeren Kräften am unteren Sprunggelenk zwar entgegenwirken. Wenn aber die Bewegung im oberen Sprunggelenk durch die Anspannung der Strecker gehemmt ist, kann immerhin im unteren Sprunggelenk die pronierende Einwirkung des Bodenwiderstandes über die supinatorische Wirkung der Strecker, speziell des Triceps, das Übergewicht haben. Schließlich erfolgt auch zwischen Talus und Calcaneus Feststellung, durch Knochen- und Bänderhemmung natürlich erst nach wirklich vollzogener pronatorischer Exkursion.

Von besonderem Interesse ist nun, daß bei dieser Bewegung, bei welcher der Talus den Calcaneus mitnimmt, der Processus superior calcanei, indem er nach oben von der Calcaneo-Kuboid-Achse gelegen ist, gegenüber dem Naviculare nach innen und hinten geht und sich von ihm entfernt. Im übrigen ist zu berücksichtigen, daß in Wirklichkeit die Bewegung des Calcaneus gegenüber dem Vordertarsus nicht erst beginnt, nachdem die pronatorische Bewegung zwischen Talus und Calcaneus vollständig zu Ende geführt ist. Viel-

ıehr kombinieren sich von vornherein beide Bewegungen miteinander, ·enn auch vielleicht gegen den Schluß der Pronationsbewegung zwischen ı'alus und Calcaneus die gemeinsame Bewegung beider Knochen gegen- ber dem Vordertarsus relativ mehr hervortritt.

Ausbildung der Exzentergestalt des Taluskopfes.

Infolge der Vergrößerung des Zwischenraumes zwischen em Processus superior calcanei und dem Naviculare ist nun ir den Talus in der Pronationsstellung zum Calcaneus mehr Raum vor- anden als in der Supinationsstellung. Da aber durch das kurze Lig. ıtratarseum die Vorbewegung des Talus auf dem Calcaneus verhindert st, so kann die Vergrößerung des Zwischenraumes nur dem nach vorn avon gelegenen Teil des Talus zugute kommen.

Um diesen Raum jederzeit genau auszufüllen, müßte offenbar der 'aluskopf eine exzentrische Gestalt mit Bezug auf die Talo- 'alcaneus-Achse haben in dem Sinn, daß die Endgelenkfläche des 'aluskopfes, welche in der Pfanne des Naviculare bei der Pronation ı beiden Gelenken (Chopart und unterem Sprunggelenk) plantarwärts, ei der Supination dorsalwärts gleitet, in ihren dorsalen Teilen eiter von dieser Achse entfernt ist als im plantaren Teil. Dies ist in der Tat der Fall. Es dreht sich also bei der Prona- ion der breitere Teil des Exzenters in den Zwischenraum ıinein, während er bei der Supination dorsalwärts wieder ıinausschlüpft.

Die Ausbildung der exzentrischen Gestalt des Taluskopfes ist offenbar aufzufassen als eine Anpassung an die auf früheren Entwick- ungsstufen weitaus häufigste Kombination der Pronation um die Talo- 'alcaneus-Achse mit Pronation im Chopart. Dank derselben tritt passive Hemmung der Pronation in den unteren Sprunggelenken früher ein als es ohne sie der Fall wäre.

Die hier besprochene Bewegungskombination, bei welcher der Talus- körper den Calcaneus etwas mitnimmt, während er sich nach außen ver- schiebt, ist in der Tat eine auch nach der Erlernung des Stehens und Gehens besonders häufig eintretende und vor dieser Zeit vielleicht die fast ausschließliche Art der Bewegung und Feststellung des Fußes im unteren Sprunggelenk gegenüber pronatorischen Widerständen (der Eihäute etc.). Um diese Kombination handelt es sich auch, wenn sich die dorsalen Muskeln, die über das gemeinsame Sprunggelenk hinweg- gehen, am freigehaltenen Fuß kontrahieren.

Die Gegenbewegung des Fußes und der Zehen, veranlaßt durch die plantaren Muskeln, muß schon in frühester Zeit eine Kombination sein zwischen supinatorischer Verschiebung um die Talo-Calcaneus-Achse und einer ebensolchen Bewegung um die Calcaneo-Kuboid-Achse, bei welcher der Zwischenraum zwischen dem Naviculare und dem Processus superior calcanei verkleinert wird. Man möchte deshalb vermuten, daß die Exzentergestalt des Taluskopfes frühzeitig in der maß- gebenden ersten Zeit der Gelenkentwicklung und jedenfalls

schon vor der Erlernung des Stehens und Gehens unter dem Einfluß der stattfindenden bewegenden Einwirkungen zur Ausbildung kommt. Aus einer Untersuchung, welche Frl. Krautblatt in meinem Laboratorium begonnen hat, kann einstweilen mitgeteilt werden, daß der Talusexzenter bei dem Neugeborenen in auffälliger Deutlichkeit ausgebildet ist, zugleich mit sehr ausgiebiger Bewegungsmöglichkeit um die schräge Calcaneo-Kuboid-Achse.

Form der Pfanne am Naviculare (Motus talo-navicularis).

Vermöge des Motus talo-calcaneus schraubt sich, wenn wir uns den Vordertarsus als ruhend denken, der exzentrisch gebaute Kopf des Talus bei der Pronation unter Drehung um die Talo-Calcaneus-Achse in die Pfanne hinter dem Naviculare plantarwärts und nach innen hinein; vermöge des Motus calcaneo-cuboideus (Bewegung zwischen Vorder- und Hintertarsus) aber bewegt er sich mit dem Calcaneus um die schräge Calcaneo-Kuboid-Achse ebenfalls im Sinn der Pronation, wobei er am Naviculare dorsalwärts rückt. Durch die zweite Bewegung wird nun die erste Exkursion des Taluskopfes nach der Planta und nach innen nicht ganz aufgehoben, aber etwas vermindert. Mit der ersten Bewegung des Taluskopfes gegenüber dem Naviculare ist eine kleine Auswärtsrotation verbunden. Die zweite Bewegung ist ebenfalls mit Auswärtsrotation verknüpft, wenn dieselbe auch weniger erheblich ist. Die beiden Auswärtsrotationen summieren sich. Zu Anfang der Pronation hat die Plantarverschiebung noch das Übergewicht, am Ende der Exkursion aber überwiegt die Auswärtsdrehung des Taluskopfes an Ort und Stelle. Das Umgekehrte findet bei der gemeinsamen Supinationsbewegung statt.

Man begreift danach, daß unter solchen Umständen sowohl an der Endfläche des Taluskopfes als an der Pfanne des Naviculare eine doppelte Krümmung vorhanden sein muß, und daß die Krümmung der ganzen Pfannenfläche des Naviculare am Taluskopf, aber namentlich diejenige des dorsalen, bei der extremen Pronation in die Pfanne eingetauchten Teiles der Kugel- resp. Eiflächengestalt nahe kommen muß. Von Kongruenz zwischen den beiden Gelenkflächen kann natürlich nicht die Rede sein. In der Supinationsstellung namentlich findet ein deutliches Klaffen der Gelenkspalte nach der plantaren Seite hin statt.

Der hier erläuterte Zusammenhang zwischen der Exzentergestalt des Talus und der bevorzugten Kombination der Pronation um beide schräge Achsen ist meines Wissens bis jetzt nicht erkannt und jedenfalls nicht genügend hervorgehoben worden.

b) Ungleichsinnige Bewegung um die beiden schrägen Achsen.

Verhältnisse bei vorn aufgesetzter Sohle.

Anders liegen die Verhältnisse wenn die Resultierende des gesamten Widerstandes an der Sohle zwar nach außen von der Talo-Calcaneus-Achse vorbei geht und ihr gegenüber ein pronierendes

oment besitzt, der auf die Vordersohle entfallende Widerstand
ber gegen die Calcaneo-Kuboid-Achse oder innen an ihr vorbei zielt.
ann wird sich am Chopart kein pronatorischer, sondern ein geringerer
er größerer supinatorischer Einfluß geltend machen. Solches
t z. B. der Fall beim Stand auf dem inneren Fußrand, oder wenn sich
e Körperlast über den inneren Fußrand des Standbeines hinüber-
älzt, oder wenn durch den Unterschenkel und Talus resultierend nicht
oß eine Einzelkraft nach unten wirkt, sondern in dazu senkrechter
bene auch noch ein horizontales auswärtsdrehendes Kräftepaar in Be-
acht kommt, so daß die Ferse nach unten und innen, die Vordersohle
ch unten und außen gegen den Boden drängt, unter Hervorrufung
ntgegengesetzt gerichteter Widerstände. In diesen Fällen kann die
ronation in den Talo-Calcaneusgelenken nicht so weit durchgeführt
erden als bei gleichzeitiger Pronation im Chopart, weil die Entfernung
s Naviculare vom Processus superior calcanei verhindert ist und
r Einschraubung des Talusexzenters in die subtalare Fuß-
latte der nötige Raum fehlt. Die Bewegung wird im Gelenk
lbst gehemmt durch die Ligg. intratarsea, welche den Talus in der
chse selbst festhalten, und durch den in einer Linie außerhalb der
chse von vornher wirkenden Druck gegen die Exzenterfläche.

Demgemäß bildet beim aufrechten Stand, wenn die Resul-
erende des Widerstandes ein pronatorisches Moment mit
ezug auf die Talo-Calcaneus-Achse besitzt, am Calcaneo-
uboidgelenk aber supiniert, letztere Einwirkung ein
ittel, welches die pronatorische Einknickung des Fußes
n den Talo-Calcaneusgelenken verhindert, solange wenig-
tens die Exzentergestalt des Talus erhalten ist.

Verhältnisse bei vorn und hinten aufgesetzter Sohle.

Wenn auch die Ferse den Boden berührt, so wird der hier
rzeugte Widerstand im allgemeinen, wenn die Ferse nicht allzu stark
ach innen drängt und nicht stärker nach innen umgelegt ist, ein wenn
uch nicht bedeutendes supinatorisches Moment gegenüber der Talo-
alcaneus-Achse haben. Denn letztere trifft, wie wir glauben, in der Regel
icht die Mitte des unteren Randes, wie H. v. Meyer annimmt, sondern
en Seitenrand der Hinterfläche der Ferse. Der Gesamtwiderstand
n der Sohle muß, wenn der Fuß nach unten oder unten und innen
rängt, im allgemeinen ein pronierendes Moment mit Bezug auf die ge-
annte Achse haben. Doch können sich bei vertikal belastetem oder etwas
ach unten und nach außen drängendem Fuß, wenn der vordere Wider-
tand unter dem ersten Metatarsusköpfchen entwickelt wird, das pro-
natorische Moment des vorderen und das supinatorische des hinteren
Fersen-) Widerstandes nahezu die Wage halten, so lange wenigstens
er innere Fußrand hoch gespannt ist. Bei einwärts drängender Sohle
rermehrt sich vorn der pronatorische Widerstand mit Bezug auf die Talo-
alcaneus-Achse und auch an der Ferse bekommt der Widerstand ein
pronatorisches Moment.

Dagegen wandelt sich beim Andrängen der Sohle nach außen der vordere Widerstand aus einem pronatorischen (gegenüber der Talo-Calcaneus-Achse) schließlich in einen supinatorischen. Beim Fersenwiderstand vergrößert sich das supinatorische Moment und gleiches gilt für den vorderen Widerstand, wenn er am Innenteil der Vordersohle entwickelt wird, mit Bezug auf die Calcaneo-Kuboid-Achse.

Verbindet sich beim aufrechten Stand mit der Belastung des Fußes von oben eine Aktion zur Einwärtsdrehung des Beines, so daß durch Vermittlung des Talus der Fuß vorn nach innen, hinten nach außen gedrängt wird, so kann zwar an der Ferse ein Widerstand hervorgerufen werden, der supinierend mit Bezug auf die Talo-Calcaneus-Achse wirkt, es kann aber der Widerstand an der Vordersohle so sehr das Übergewicht haben, daß auch hier im ganzen ein pronatorisches Moment der Widerstände gegenüber jener Achse besteht. Eine Wirkung des vorderen Widerstandes zur Supination im Chopart, durch welche die pronatorische Eindrehung des Talusexzenters gehemmt wird, ist nur dann möglich, wenn der vordere Widerstand am Innenteil der Vordersohle angreift und nicht allzusehr nach außen statt nach oben gerichtet ist.

Bei stärkerer einwärtsdrehender Aktion des Beines, oder wenn der Fuß sowohl hinten als vorn stark nach innen drängt, wandelt sich der Einfluß des vorderen Widerstandes am Chopart in einen pronatorischen um, auch wenn er wesentlich am Innenteil der Vordersohle angreift. Bei ruhigem aufrechtem Stand aber und nur geringer einwärtsdrehender Aktion am Bein, oder geringem Einwärtsdrängen des ganzen Fußes kann sehr wohl, sobald der Widerstand vorn wesentlich vom inneren Teil der Sohle erzeugt wird, der pronatorischen Eindrehung des Talusexzenters in der angegebenen Weise ein Hindernis gesetzt sein, sei es durch Mithilfe der Muskeln, sei es durch passive Hemmung in den Gelenken. Eine weitere Bewegung unter Formveränderung des Tarsus ist dann nur noch in der Weise möglich, daß Talus und Calcaneus zusammen als eine starre Einheit (Hintertarsus) gegenüber dem Vordertarsus im Sinn der Pronation des vorderen Stückes gegenüber dem hinteren bewegt werden. Ist schließlich auch diese Bewegung verhindert, so müssen die vom Unterschenkel her auf den Hintertarsus wirkenden Kräfte durch die Chopartsche Verbindungszone hindurch dem an der Vordersohle auf den Fuß wirkenden Widerstand das Gleichgewicht halten.

So ist im allgemeinen eine auswärtsrotierende Einwirkung des Beines ein geeignetes Mittel, um die Tendenz zur Pronation um die Talo-Calcaneus-Achse zu vermindern, während umgekehrt aktive Einwärtsrotation des Beines am Fuß den pronatorischen Einfluß des Widerstandes an der Vordersohle und auch am ganzen Fuß vermehrt, ebenso wie das Andrängen des ganzen Fußes nach innen.

Die Feststellung der unteren Sprunggelenke erfolgt ent-

eder durch bloße Knochen- und Bänderhemmung in extremer Pro-ations- oder Supinationsstellung, nachdem zuvor eine Pronations-der Supinationsstellung im Gelenk stattgefunden hat. Oder diese ewegungen werden gehemmt durch die Anspannung der Supinatoren sp. der Pronatoren des Gelenkes, so daß die Feststellung erfolgen kann vor die Extremstellung erreicht ist. Die der Feststellung des auf-setzten Fußes vorausgehende Bewegung wird in der Regel z. T. von r subtalaren Fußplatte, z. T. von den darüber liegenden Teilen aus-führt. Am Talus ist meist die Neigung der Rollenachse durch die-nige des Unterschenkels festgestellt, während die Längsrichtung des lus sich meist verändern und vorn, unter Längsdrehung des Unter-henkels, nach innen oder außen und auch, gegenüber dem Unter-henkel, nach oben oder unten gehen kann. An der subtalaren Fuß-atte aber ist namentlich bei vorderer und hinterer Unterstützung, ne Änderung der Richtung der Längsachse verunmöglicht, während ne Längsrotation innerhalb gewisser Abschnitte stattfinden kann.

Die Pronation oder Supination kann also im unteren prunggelenk, zwischen Talus und Calcaneus tatsächlich ine Seitenneigung der Talusrolle und des Unterschenkels nur weit vor sich gehen, als die subtalare Fußplatte und speziell der arsus die Drehung um die Längslinie des Fußes übernehmen, und da rehung des Fußes entlang der Unterlage nicht stattfindet, nur so weit, s die Talusrolle mit dem Unterschenkel die Drehung um ie vertikale Achse ausführt. Wenn aber beispielsweise die rehung um die vertikale Achse sowohl seitens des Fußes, als itens des Unterschenkels und der Talusrolle unmöglich gemacht t, so liegt darin ein Hindernis für das Zustandekommen der ronation und Supination überhaupt.

In allen diesen Fällen wirken, bei vorderer und hinterer Unterstützung des ußes, der vordere und hintere Widerstand annähernd in der gleichen Ebene nd in gleicher Richtung und haben beide für die starr gedachte subtalare Fuß-latte eine irgendwie nach oben gerichtete Resultierende, welche durch ie Talo-Calcaneus-Achse oder innen oder außen an ihr vorbeigeht. In en beiden letzten Fällen hat diese Resultierende ein supinierendes resp. ein pro-ierendes Moment mit Bezug auf diese Achse.

Alle vom übrigen Körper her auf den subtalaren Fußteil einwirkenden räfte müssen sich in diesen Fällen durch zwei ungleiche Kräfte er-etzen lassen, die zusammen jener resultierenden Widerstandskraft Gleich-ewicht halten, eine durch die Talo-Calcaneus-Achse nach unten wir-ende Druckkraft und eine nach oben gerichtete kraniale Zugein-irkung, welche auf der entgegengesetzten Seite der Achse wirkt im Vergleich um resultierenden Widerstand, und welche seiner drehenden Einwirkung um ne Achse Gleichgewicht hält.

Zu den drei Kräften der gleichen Kraftebene, welche sich so am subtalaren tück Gleichgewicht halten, können nun unter Umständen (s. Allg. Teil S. 156) och zwei horizontale Kräftepaare hinzukommen, die sich unter sich leichgewicht halten, ein Kräftepaar des Widerstandes, das an der Vordersohle nd an der Ferse angreift, und ein Gegenkräftepaar, das einem vom Bein und nterschenkel her (durch Vermittlung der Talusrolle und der Bänder des gemein-men Sprunggelenkes) auf das Subtalarstück ausgeübten drehenden Einfluß um ne vertikale Achse entspricht. Wenn diese Einwirkung z. B. bei vertikal be-stetem Fuß in einer aktiven Auswärtsrotation des Beines besteht, so wird ihr

Gleichgewicht gehalten durch eine einwärts gerichtete Widerstandskomponente an der Vordersohle und eine auswärts gerichtete Widerstandskomponente an der Ferse. Der resultierende vordere Widerstand ist dann aufwärts einwärts gerichtet, sein pronatorisches Moment ist verkleinert oder in ein supinatorisches verwandelt. Der resultierende Widerstand an der Ferse ist aufwärts und auswärts gerichtet; doch wird es zu einer erheblichen pronatorischen Einwirkung hier nicht kommen, namentlich nicht, wenn die Last mehr auf dem vorderen Fußteil ruht.

η) Die Wirkung der Muskeln am Chopart und an den Sprunggelenken.

Es wurde bereits hervorgehoben, daß keine Muskeln am Sprungbein selbst inserieren; diejenigen, welche das obere Sprunggelenk überspringen, gehen auch noch an den unteren Sprunggelenken vorbei und heften sich erst an der subtalaren Fußplatte an. Nur einer endet am Calcaneus, die anderen gehen bis zum Vordertarsus oder sogar bis zu den Zehenstrahlen. Ferner wurde gezeigt, daß der Vordertarsus den relativ starren

Fig. 114.

Mittelteil des Fußskelettes darstellt, während vor ihm die Strahlen, hinter ihm der Hintertarsus biegsame resp. umstellbare Randteile darstellen. Andererseits ist am proximalen Fußende der Talus dem mittleren Fußteil gegenüber umstellbar, doch gilt dies in geringerem Maße auch für das Fersenbein. Was hinter der Articulatio calcaneo-cuboidea resp. dem ganzen Chopart liegt, gehört also zum proximalen, abbiegbaren Gebiet. Die am Sprunggelenk vorbeiziehenden Muskeln müssen bezüglich

er Wirkungsweise am oberen Sprunggelenk sowie mit Bezug auf ihre irkung an den unteren Sprunggelenken und am Chopart geprüft wer- n. Es kommt dabei ihre Bedeutung für den Motus talo-cruralis, den tus talo-calcaneus und den Motus talo-navicularis in Frage. Die nze Untersuchung wird am besten im Zusammenhang vorgenommen.

a) Muskelwirkung am Chopart (Motus talo-navicularis).

Als **Supinator** ist vor allem der M. tibialis anterior und in etwas ringerem Grade der M. tibialis post. anzusehen. Die maßgebende grichtung des letzteren geht zu der Tuberositas ossis navicularis nach rn und deutlich abwärts; sie überkreuzt die Calcaneo-Kuboid-Achse ndschief. Da der Tibialis post. zugleich Supinator ist mit Bezug auf Talo-Calcaneus-Achse und Strecker im oberen Sprunggelenk, so kommt ne Wirkung im Chopart um so ausschließlicher zur Geltung, je mehr Bewegung zwischen Calcaneus und Talus und diejenige im oberen prunggelenk gehemmt ist. An der Plantarseite geht die Achse der rticulatio calcaneo-cuboidea an der lateralen Seite der Sehnen des ngen gemeinsamen Zehenbeugers und des langen Großzehen- ugers vorbei, welche deshalb ebenfalls in geringem Grade an diesem elenk supinieren. (Das Caput plantare vermindert noch diese irkung.) Der gemeinsame kurze Zehenbeuger wird von der hse geschnitten und ist deshalb für die Bewegungen im Chopart emlich indifferent.

Pronatorische Wirkung am Chopart entfalten die beiden ge- einsamen Dorsalextensoren der Zehen, der Peroneus III und ganz be- nders der Peroneus brevis und Peroneus longus.

Die beiden Mm. tibiales wirken am Chopart im gleichen Sinn zur upination, während sie mit Bezug auf die Drehung um die schräge alo-Calcaneus-Achse Antagonisten sind. (Das gleiche gilt übrigens für ie Extensoren und den Flexor longus der großen Zehe.) Diese An- ahmen werden bestätigt durch die fleißige und sorgfältige Untersuchung on R. Fick über die Arbeitsleistung der auf die Fußgelenke wirkenden uskeln (Kölliker-Festschrift 1892). In der folgenden, nach den ngaben dieses Autors hergestellten Tabelle enthält die Kolonne 5 die ängenänderungen, welche bei Feststellung des oberen und unteren prunggelenkes durch maximale Bewegung im Chopart an den über- pringenden Muskeln erhalten wurden, Kolonne 4 die Längenänderungen, elche durch maximale Bewegung im unteren Sprunggelenk, bei Fest- tellung des Vordertarsus, gegenüber dem Calcaneus und dem oberen prunggelenk auftreten.

In der 3. Kolonne der Tabelle sind die Querschnittsmaße der Muskeln nach neueren Messungen von R. Fick) angegeben und in den Kolonnen 5 nd 7 die daraus neuerdings von ihm berechneten Arbeitsvermögen, nter Annahme von 10 kg Spannung pro Quadratzentimeter physio- gischem Muskelquerschnitt.

Muskel	Gewicht in g	Querschnitt in qcm	Unteres Sprunggelenk: Verkürzung in m	Unteres Sprunggelenk: Arbeit in kg/m	Chopart: Verkürzung in m	Chopart: Arbeit in kg/m
Gastrocnemius	120	23,0	0,011	2,53	Keine Beziehung zum Chopart	
Soleus	137	20,0	0,0116	2,32		
Flexor hall. long.	33,2	4,5	0,015	0,67	0,0030	0,13
Flexor digit. comm. long	12,3	2,8	0,0205	0,57	0,0058	0,15
Tibialis post.	39,6	5,8	0,025	1,45	0,0058	0,34
			Supinatoren	7,86		
Tibialis ant.	49,2	7,7	0,0043	0,33	0,0090	0,69
Ext. hall. long.	12,3	13,5	0,0090	0,12	0,0060	0,08
					Supinatoren	1,39
Ext. digit. comm. lg.	49,2	2,5	0,0194	0,48	0,0100	0,25
Peroneus III	3,5	1,7	0,0226	0,38	0,0110	0,19
Peroneus brevis	16,5	3,8	0,0227	0,86	0,0106	0,40
Peroneus long.	24,0	4,3	0,0245	1,05	0,0141	0,61
			Pronatoren	3,22	Pronatoren	1,45

b) Muskelwirkung an der Talo-Calcaneusjunktur.

Was die Wirkungsweise der über den Talus zur subtalaren Fußplatte ziehenden Muskeln auf die Stellung und Bewegung des Talus zum Calcaneus und umgekehrt im unteren Sprunggelenk betrifft, so ist dafür die Lage der Muskeln zu der schrägen Talo-Calcaneus-Achse maßgebend, und zwar kommen dabei die Zugrichtungen ihrer im Bereich der unteren Sprunggelenke gelegenen Abschnitte in Betracht.

Wo Sehnenretinacula vorhanden sind, welche sich an der subtalaren Fußplatte anheften und die vom Talus herkommenden Sehnen niederhalten, oder wo letztere jenseits des Talus um Knochenvorragungen herumbiegen, kommt es auf die Richtung der proximal davon gelegenen Sehnenteile an. Jene Stellen der Sehnenabbiegung sind dann als Ansatzpunkte am subtalaren Fußteil zu betrachten. So ist für die Sehne des Flexor hallucis longus das Stück jenseits des Angulus tali maßgebend, für den M. tibialis posterius und Flexor digit. comm lg. der zwischen dem Lig. acetabulare resp. dem Sustentaculum tali und dem medialen Knöchel gelegene Abschnitt, für die Peronei der Sehnenteil zwischen dem lateralen Knöchel und dem Fußrand, für die vorn am Sprungbein vorbeiziehenden Muskeln sind es die unteren Teile des Lig. cruciatum.

Die kurzen Muskeln des Fußes haben natürlich keine Beziehung zum Motus talo-calcaneus. Der Triceps ist zu den Supinatoren zu rechnen, insofern die schräge Talo-Calcaneus-Achse durch den lateralen Rand des Fersenhöckers geht. Die übrigen langen plantaren Muskeln, die vom Unterschenkel in die Plantarrine treten, sind Supinatoren, sämtliche dorsalen Muskeln sind Pronatoren (s. Fig. 114 und die oben-

ehende Tabelle). Die Sehne des Tibialis anticus geht sehr nah, wenn auch der Regel nach außen an der schrägen Talo-Calcaneus-Achse vorbei, in pronatorischès Moment ist jedenfalls sehr gering. Auch habe ich funden, daß der Muskel unter Umständen bei stark supiniertem Fuß die innere Seite der schrägen Talo-Calcaneus-Achse gelangt und dann m Supinator wird. Zu dem gleichen Resultat ist R. Fick gekommen. raktisch kann die Einwirkung des Tibialis anticus auf den Motus talo-lcaneus vernachlässigt werden.

Daß dieser Muskel von den Autoren meist zu den Supinatoren resp. Adductoren" gerechnet wurde, beruht wohl darauf, daß er im Chopart id in weiter vorn gelegenen Gelenken eine entschieden supinatorische nktion hat. Bei seiner Anspannung resp. Kontraktion am freien ß geht das Naviculare am Taluskopf dorsalwärts; das Kuboid bleibt t an derselben Stelle. Noch viel auffälliger ist in der Regel die Dorsal-wegung des ersten und auch des zweiten Keilbeins am Naviculare, bei die inneren Metatarsalia mitgenommen werden, während die sis des V. Metatarsale am Kuboid plantarwärts rückt. Geht ein rkerer Zipfel der Sehne zum I. Metatarsale (s. hierüber Giani 1909), wird diesem Knochen noch eine besondere Dorsalbewegung gegenüber m ersten Keilbein mitgeteilt. Die Beweglichkeit in der Gliederungs-lle vor dem Naviculare und Kuboid ist oft besser ausgeprägt als die-nige im Chopart. Der ganze davor gelegene Teil des Fußes oder wenig-ns sein Innenteil kann dann wie ein besonderer Flügel plantarwärts genüber dem Kuboid eingeklappt werden, unter Verengerung der ntarrinne, Verschmälerung des Vorderfußes und Vermehrung seiner rsalen Querwölbung (durch Kontraktion des Peroneus longus), während einem Druck von unten nachgebend, oder infolge der Kontraktion s M. tibialis anticus nach innen und dorsalwärts zurückschwenkt, ter Öffnung und Verbreiterung der Plantarrinne und Abflachung r dorsalen Querwölbung des Vorderfußes. In dieser Hinsicht ist der bialis anticus ein guter, wenn auch nicht vollkommener Antagonist s Peroneus longus (s. über diese Verhältnisse namentlich Duchenne, hysiologie des mouvements).

c) Arbeitsleistung der Muskeln an der Talo-Calcaneusjunktur.

Die pronatorische oder supinatorische Bewegung im unteren Sprung-lenk (zwischen Talus und Calcaneus) kann durch Muskelspannung hemmt und ganz verhindert werden. Umgekehrt aber kann durch ärkere Anspannung der Supinatoren oder Pronatoren bei sonst gleichen mständen eine entgegengesetzte Bewegung im unteren Sprunggelenk, tgegen den äußeren Kräften, inszeniert werden. So können die Prona-ren und Supinatoren am unteren Sprunggelenk positive Arbeit sten, besonders häufig in Kombination mit gleichzeitiger positiver reckungsarbeit am oberen Sprunggelenk. Es wird dabei die sub-lare Fußplatte der Quere nach als Hebel benutzt, ganz ähnlich e das mit dem ganzen Fuß beim Sohlen- und Zehenstand in der Längs-htung hinsichtlich der Bewegungen um die Drehungsebene des oberen runggelenkes der Fall ist.

Obwohl nun dem absoluten Wert nach die im unteren Sprunggelenk mögliche positive Arbeitsleistung gering ist, so ist sie doch nicht unwichtig. Nicht bloß ermöglicht die abwechselnde Hebung des inneren oder äußeren Fußrandes eine willkommene Verlegung der Druckstellen der Fußsohle, es können auch durch die Aktion am unteren Sprunggelenk dem Körper seitliche Impulse erteilt werden, welche für die Äquilibration und für genauere Adjustierung der Richtung der dem Körper durch die untere Extremität erteilten Bewegung wichtig sind. Aktive supinatorische Senkung des äußeren Fußrandes, z. B. bei vertikal oder mit Neigung nach innen dem Boden aufgesetztem Bein, erteilt dem letzteren (resp. dem ganzen Körper) einen Impuls nach innen hinten.

Eine supinatorische Aktion entfalten wir gewöhnlich auch bei der Abrollung des Fußes nach vorn über den inneren Fußrand, zugleich mit Streckaktion im oberen Sprunggelenk, wobei bald mehr die inneren, bald mehr die äußeren Metatarsalköpfchen gegen den Boden wirken usw.

d) Wirkungsweise der Muskeln am oberen Sprunggelenk.

Als **Strecker** des Fußes im oberen Sprunggelenk kommen in Betracht der Peroneus brevis und longus, die drei tiefen Wadenmuskeln und der Triceps surae.

Als Kraftlinie ist für die Peronei das Stück der Sehnen maßgebend, das zwischen der Umbiegungsstelle am Malleolus lateralis und dem äußeren Fußrand (Außenrand des Calcaneus und Basis metatarsi V.) resp. dem Retinaculum der Peroneussehnen liegt, als Hebelarm der Abstand derselben von der oberen Sprunggelenkachse. Die Kraftlinie des M. flexor hallucis longus wird dargestellt durch die Richtung der Sehne oberhalb der hinteren Talusecke, die Kraftlinien des Tibialis posterior und des Flexor digitorum comm. lg. entsprechen den Sehnenabschnitten zwischen der Umbiegungsstelle am medialen Knöchel und der Seite des Taluskopfes (Tuberculum ossis navicularis).

Beuger des oberen Sprunggelenkes sind die tibialen dorsalen, vom Unterschenkel zum Fuß gehenden Muskeln. Sie werden durch das Lig. transversum und cruciatum niedergehalten. Als Kraftlinie derselben haben die Sehnenstücke zwischen diesen Umbiegungsstellen zu gelten, als Ansatzpunkt am Fuß die Abbiegungsstellen am Lig. cruciatum. Von hier aus überträgt sich die Wirkung der Beugemuskeln auf die Fußplatte durch die distalen Schenkel und tiefen Pfeiler des Lig. cruciatum. (Man vgl. in dieser Beziehung die Auseinandersetzungen auf Seite 159 des I. Teils d. L.) Die Spannung der betreffenden Sehnen wirkt aber nicht voll und ganz auf diese Punkte, wenn in weiter distalwärts gelegenen Gelenken Bewegung erfolgt, sondern nur nach Maßgabe, wie in diesen Gelenken die Bewegung gehemmt ist.

Die folgende Tabelle zeigt in der 3 Kolonne die von R. Fick 1892 gefundenen Längenänderungen der Muskeln bei maximaler Exkursion im oberen Sprunggelenk bei Feststellung aller übrigen Gelenke des Fußes. Die Kolonnen 4 und 5 enthalten die Querschnittswerte, wie sie

on R. Fick im Jahre 1892 und später im Jahre 1911 bestimmt worden nd; die Kolonnen 7 und 8 geben die danach berechneten Werte für das naximale Arbeitsvermögen.

Muskel	Gewicht in g	Verkürzung in m	Querschnitt in qcm nach R. Fick 1892	Querschnitt in qcm nach R. Fick 1911	Effek. Querschnitt in qcm nach Straßer und Altschuler		Arbeitsvermögen in kg/m nach R. Fick 1892	Arbeitsvermögen in kg/m nach R. Fick 1911	nach Straßer und Altschuler[1]	
antarbe- eger										
trocnemii .	120	0,039	7,26	23,0	32,0	82	2,831	8,97	12,48	34,83
us	131	0,0447[2])	8,80	20,0	50,0		3,937	8,94	22,35	
cor digit.										
mm. lg. .	12,3	0,01	0,60	2,8	4,0		0,078	0,36	0,40	
or hall. lg.	33,2	0,0191	1,15	4,5	8,0		0,218	0,85	1,58	
alis post. .	39,6	0,007	1,35	5,8	17,25	38,85	0,094	0,41	1,21	4,06
neus brevis	16,5	0,0065	0,85	3,8	2,6		0,056	0,25	0,17	
neus long.	24,0	0,010	1,15	4,3	7,0		0,118	0,44	0,7	
rsalbe- veger										
alis ant .	49,2	0,033	2,64	7,7	4		0,871	2,54	1,32	
ens. hall.										
ng.	12,3	0,031	0,50	1,3	3,75		0,155	0,42	1,62	
ens. comm.										
ng.	18,2	0,033	0,85	2,5	8		0,280	0,82	2,48	
neus III .	3,5	0,029	0,30	1,7			0,087	0,49		

Bei den Querschnittsmessungen aus dem Jahre 1892 wurde einfach er Querschnitt des Muskels an der Stelle seiner größten Dicke gemessen an einer Leiche). Bei den Messungen aus dem Jahre 1911 hat R. Fick en physiologischen Querschnitt bestimmt und z. T. der Fiederungsichtung der Muskeln Rechnung getragen. (S. dessen Lehrb. III, S. 615. Genaueres über die Methode wird nicht angegeben.) Kolonne 5 enthält ie Mittelzahlen aus Messungen an vier Individuen. Ich habe mir erlaubt, die beiden Messungsreihen und die nach den beiden Querschnittsmaßen berechneten Arbeitswerte nebeneinander zu stellen. Der Vergleich zeigt, wie auffällig je nach der Querschnittsbestimmung die Differenzen sind. — Ich habe auch noch in Kolonne 6 die von mir zusammen mit Herrn Altschuler an einer kräftigen Leiche ermittelten Querschnittswerte eingetragen. Sie wurden gefunden mit Hilfe der Formel $\frac{V}{L}$, wobei V das Volumen des Muskelfleisches des betreffenden Muskels, L die effektive Länge des Muskels bedeutet (s. S. 51).

[1]) Mittelwert der Verkürzung des Soleus tibialis und fibularis.
[2]) Unter Zugrundelegung der von R. Fick ermittelten Verkürzungsgrößen.

Die von uns gefundenen Querschnittswerte sind im allgemeinen erheblich größer ($1^1/_2$—3 mal so groß) als die von R. Fick 1911 ermittelten. Besonders auffällig ist die Differenz beim Soleus. Der Unterschied erklärt sich kaum einzig aus der Verschiedenheit der Individuen. Die Vermutung von R. Fick, daß beim Soleus Fleischfasern hintereinander aufgereiht seien wie beim Rectus abdominis (Zwischensehnen) ist nicht begründet.

Verschiedene ältere Anatomen haben den Peroneus brevis, zum Teil sogar den Peroneus longus für einen Dorsalbeweger des Fußes angesehen. Duchenne nahm an, daß der Peroneus brevis und ebenso der Tibialis post. den Fuß von einer Mittelstellung aus sowohl strecken als beugen können. Die anatomische Untersuchung läßt ohne weiteres mit Sicherheit erkennen, daß nicht bloß der Tibialis posticus und der Peroneus longus, sondern auch der Peroneus brevis unter normalen Verhältnissen den Fuß im oberen Sprunggelenk plantarwärts bewegen müssen. Die Drehungsachse für die Bewegung in diesem Gelenk geht durch den vorderen Rand des Malleolus lateralis, wo er von der Mittellinie des Lig. talo-fibulare anterius überschnitten wird. Der Punkt, wo die Peroneus brevis-Sehne die Rinne hinten am Knöchel verläßt, liegt mindestens 1 cm nach hinten davon; noch weiter entfernt hinter der Achse liegt die Stelle, von welcher aus die Peroneus longus-Sehne geradlinig weiterläuft. Jedes normale Präparat zeigt deutlich, wie sich das Retinaculum peroneorum an der Außenseite des Fersenbeins der Rinne hinter dem Knöchel bei der Plantarbewegung des Fußes nähert. Anders liegen natürlich die Verhältnisse, wenn die Peroneussehnen am Knöchel nach vorn luxiert sind, wie solches bei Fußdeformitäten vorkommen kann (vgl. R. Fick, Kölliker-Festschr. 1892 und Lehrbuch III. S. 611). Schultheß gibt zu, daß der Muskel ein Plantarbeweger des Fußes im oberen Sprunggelenk ist, tritt aber doch dafür ein, daß er unter Umständen die Dorsalbeugung unterstützt. Es wird hierbei von ihm nicht deutlich genug die Wirkung des Muskels am oberen Sprunggelenk und an den Talo-Calcaneusgelenken auseinandergehalten. Jede Pronation in den letzteren Gelenken enthält natürlich als Komponente eine Dorsalbewegung des subtalaren Fußteiles. Auch müssen die im folgenden dargelegten Verhältnisse berücksichtigt werden.

c) Kombinierte Aktionen an beiden Gelenken.

Nur in seltenen Fällen wird zugleich im oberen und unteren Sprunggelenk die Feststellung in extremer Gelenkstellung, einzig durch Bänderhemmung zustande gebracht. In der Regel werden vielmehr, vorab für die Feststellung des einen Gelenkes, Muskelkräfte mitwirken müssen, die dann aber immer zugleich auch auf das andere Gelenk Einfluß haben. Da sowohl supinierende als pronierende Strecker und Beuger und sowohl streckende als beugende Pronatoren und Supinatoren, und zwar teilweise in mehrfacher Zahl zur Verfügung stehen, sind verschiedene Kombinationen möglich. Dies gilt auch für die Fälle, in welchen durch das Übergewicht der äußeren Kräfte oder der Muskelkräfte Bewegung zustande kommt. Die von Förster aufgestellten Begriffe der agonistischen, antagonistischen oder kollateralen Synergie lassen sich hier sehr wohl anwenden. Man wird sich z. B. nicht darüber verwundern, daß bei energischer Anstrengung zur Pronation des Fußes die hinteren Peronei mitwirken, auch wenn tatsächlich eine Dorsalbewegung im oberen Sprunggelenk stattfindet, sei es, indem die äußeren Kräfte oder die Dorsalbeuger des Fußes über die Strecker das Übergewicht haben. Ob die hinteren Peronei sich dabei wirklich arbeitleistend verkürzen, ist eine

ndere Frage. Man wird dabei für beide Gelenke getrennt untersuchen üssen, ob vom Muskel oder an ihm Arbeit geleistet wird. Es kann hr wohl auch der M. tibialis anticus wegen seiner Wirkung auf den nnenteil des vorderen Fußabschnittes bei starker Supinationsanstren-ung mitbeteiligt sein, nicht bloß wenn der Fuß tatsächlich im oberen prunggelenk gebeugt, sondern auch wenn er in demselben ge-reckt wird.

Stärkere Anspannung der Supinatoren an dem in Pronationsstellung ufgesetzten, durch Skeletthemmung festgestellten Fuß muß zunächst ur Entlastung der Bänder und weiterhin zur Supinationsbewegung ihren (Erhebung des inneren Fußrandes, verbunden mit gleichzeitiger uswärtsdrehung des supratalaren Körperteils). Sind dabei nur die orderen Supinatoren wirksam (Tibialis ant.), so erfolgt keine Streckung n oberen Sprunggelenk; wohl aber muß dies der Fall sein, wenn der riceps stärker in Anspruch genommen wird.

Dies sind nur einige Beispiele aus vielen.

Mit Bezug auf die zur Verfügung stehenden Kräfte ist dabei folgendes esonders zu berücksichtigen: Die Kraftmomente sind im allgemeinen en berechneten maximalen Arbeitsvermögen proportional. Alle Supi-atoren des unteren Sprunggelenkes, außer dem gelegentlich selbst in er Talo-Calcaneusjunktur supinatorisch wirkenden Tibialis ant., sind lantarbeweger des Fußes. Dazu kommen nun auch noch als Plantar-eweger die Mm. peroneus longus und brevis. Es ist keine Frage, daß e sich bis zur natürlichen Grenze der Plantarbewegung immer noch erkürzen. Zur geraden Streckung des Fußes (ohne Supination) ist ie Mitwirkung der hinteren Peronei unbedingt erforderlich. Der Pero-eus longus ist von besonderer Bedeutung, um bei der Streck-ktion den Großzehenballen mit größerer Kraft gegen den Boden zu rängen.

Aus dem Vergleich der beiden letzten Tabellen ergibt sich, daß der Triceps surae seine Hauptarbeit am oberen Sprunggelenk entfaltet mit dem 3—4fachen seiner Arbeitsleistung am unteren Sprunggelenk), während umgekehrt die Muskeln der Plantarrinne (der Flex. hall. lg., Flex. digt. comm. lg. und namentlich der Tibialis post.) größere Arbeit am unteren als am oberen Sprunggelenk leisten können (das $1^1/_2$—$3^1/_2$-fache). Immerhin hat der Triceps ihnen gegenüber auch am unteren Sprunggelenk noch den größeren Einfluß; am oberen Sprunggelenk ist sein Arbeitsvermögen mindestens 7—8mal größer als dasjenige der übrigen Strecker zusammengenommen.

Eine vortreffliche Quelle der Belehrung über die Wirkungsweise und das Zusammenspiel der Muskeln, welche den Fuß bewegen, ist auch heute noch das klassische Werk von Duchenne über die „Physiologie der Bewegungen".

9) Bedingungen der Feststellung und Bewegung im oberen Sprunggelenk.

a) Statische Verhältnisse. Allgemeine Bedingungen der Feststellung des Gelenkes beim Stehen.

Für die Feststellung des oberen Sprunggelenkes gelten die im Allgemeinen Teil d. Lb. erörterten Grundsätze. Die dort gebrachten Beispiele beziehen sich zum Teil gerade auf dieses Gelenk. Es handelt sich vor allem um den Stand. Das Gewicht des Körpers verteilt sich nach bestimmtem Gesetz auf die beiden Fußunterstützungsflächen. Wenn der über beiden Fußgelenken gelegene Körperrest als in sich starr angenommen wird, so kommt es zu keinem Seitenschub und an jedem Fuß wirkt eine rein vertikale Belastung durch das halbe Körpergewicht in einer bestimmten Schwerlinie. Ihr muß nach Größe und Kraftlinie der entgegengesetzt gerichtete Widerstand entsprechen, wenn Gleichgewicht bestehen soll. Die Resultierende des Widerstandes braucht nun bei derselben Ausdehnung der Unterstützungsfläche durchaus nicht immer in der gleichen Linie zu liegen; sie kann bald mehr dem vorderen, bald mehr ihrem hinteren Rande genähert sein, je nach der Kraftlinie der Belastung und den am oberen Sprunggelenk wirkenden exaxialen Kräften. Auch ist diese Belastung durchaus nicht immer mit dem von der Tibia her gegen die Talusrolle wirkenden Druck identisch, wie vielfach angenommen wird. Vor allem handelt es sich bei letzterem gewöhnlich nur um eine Komponente der Belastung. Außerdem müssen, sobald die Schwerlinie vor der Fußgelenkachse vorbeigeht, die Streckmuskeln des Fußgelenkes angespannt sein, um der Drehungseinwirkung der Resultierenden des Fußwiderstandes auf den Fuß mit Bezug auf diese Achse Gleichgewicht zu halten. Annähernd um den Betrag des Zuges der Streckmuskeln auf ihre Ursprungspunkte wird dabei der gegen die Talusrolle vom Unterschenkel her wirkende Druck vermehrt; andererseits ist eine Spannung in den Beugemuskeln notwendig, wenn die Schwerlinie hinter die Fußgelenkachse fällt. Die vor und hinter der Fußgelenkachse auf den Fuß wirkenden Kräfte (Schwere des Fußes, Muskelzug und Widerstände des Bodens) und der vom Unterschenkel her gegen die Fußgelenkachse wirkende Druck müssen sich am Fuß Gleichgewicht halten.

b) Erhebung in den Zehenstand.

(Vgl. I. Bd. S. 149 u. 153.)

Soll der Körper in den Zehenstand erhoben werden und dabei das Gleichgewicht erhalten bleiben, so muß zuvor die Last nach vorn über die Zehen gebracht sein, was nicht ohne Vermehrung der Anspannung in den Streckmuskeln möglich ist. Indessen ist es nicht die Zunahme dieser Spannung, welche die entsprechende horizontale Verschiebung

s Schwerpunktes bewirkt. Solches geschieht vielmehr durch andere ittel, z. B. die Aktion der Hüftgelenkstrecker. Ist die Körperlast im Stand auf voller Sohle über die Zehen gebracht, so führt eine weitere rgrößerung der Spannung der Streckmuskeln zur Abhebung der rse vom Boden unter Streckung des Fußgelenkes. Zwar vermehrt h entsprechend dem Zuwachs der Spannung der Strecker auch der n oben auf das Sprungbein wirkende Druck; da aber die Zugeinwirkung f größerem Abstand von den Zehen angreift als die Druckkraft am rungbein, so kann der Drehungseinfluß der ersteren mit Bezug auf n Unterstützungspunkt an den Zehen das Übergewicht haben. Soge die Körperlast gehoben wird, muß natürlich auch der Druck d Druckwiderstand an den Zehen größer sein, als der auf den beffenden Fuß entfallende Anteil der Körperlast.

Ed. Weber (1837) und nach ihm viele andere haben angenommen, ß der Fuß, wenn wir uns auf die Zehen erheben, sich wie ein einarmiger bel verhält, dessen fester Drehpunkt (Drehungsachse) im Köpfchen s ersten Metatarsale liegt. Bedeutet G das Körpergewicht und K die sultierende der an der Achillessehne angreifenden Muskelkräfte, den Abstand der Lotrechten durch die Mitte der Achse der Talusrolle n dem ersten Metatarsalköpfchen, r den Abstand der Zugrichtung r Achillessehne von letzterem, so besteht nach Ed. Weber für die ststellung im Zehenstand die Relation $G \cdot s = K \cdot r$. Diese Relation falsch. Henke und Knorz (1865) und später Ewald (1896) haben e Unrichtigkeit der Weberschen Gleichung erkannt. Der Fehler von d. Weber liegt aber nicht, wie Ewald meint, darin, daß Weber den ß als einarmigen Hebel aufgefaßt hat, während er sich in Wirklichkeit ie ein zweiarmiger Hebel verhalte, dessen Drehpunkt im Fußgelenk liegt. n Falle der Feststellung des Fußes müssen sich ja sämtliche an ihm anreifenden Kräfte mit Bezug auf irgend eine Drehungsachse mit ren drehenden Einflüssen Gleichgewicht halten (s. I. Bd. d. Lehrb. . 57). Man kann sich also die Drehungsachse ebensogut durch das etatarsalköpfchen als durch die Ferse oder durch das Fußgelenk gelegt nken. Wohl aber kommt es darauf an, daß man jeweilen alle auf den uß einwirkenden Kräfte berücksichtigt, nämlich 1. den Widerstand des odens am Unterstützungspunkt, 2. die Einwirkung der Schwere auf en hinter dem Unterstützungspunkt gelegenen Fußabschnitt, 3. die räfte, welche vom Oberstück her durch die Tibia gegen die Achse des beren Sprunggelenkes wirken und 4. den Zug der Streckmuskeln am uß. Der Fehler von Ed. Weber beruht darin, daß er für die von oben ch unten auf den Fuß einwirkenden Kräfte 2. und 3. das ganze Körperwicht, wirkend in einer Senkrechten durch die Mitte des oberen Sprungelenkes, angenommen hat. In Wirklichkeit handelt es sich, wie wir im Bd. d. Lehrb. auf S. 148, 149 und 153 gezeigt haben, bei 3. um die esultierende zweier gegen die Mitte des Fußgelenkes von oben her nwirkenden Kräfte a) einer Kraft, welche der Schwere des Oberstückes ber dem Fußgelenk nach Größe und Richtung gleich ist, b) einer raft, welche der Zugeinwirkung der Streckmuskeln des Fußgelenkes f das Oberstück nach Größe und Richtung entspricht.

Indem das Gewicht des Fußes gegenüber dem Gewicht des Oberstückes sehr klein ist, kann man dasselbe samt der oben unter 2. genannten Einwirkung für gewisse praktische Fragen (Berechnung der nötigen Spannung der Wadenmuskeln) vernachlässigen und das Gewicht des Oberstückes = dem ganzen Körpergewicht G setzen. Nimmt man ferner an, es komme nur der in der Achillessehne wirkende Muskelzug K des Triceps surae in Betracht und es wirke dieser Zug in genau vertikaler Richtung, was freilich beides nicht ganz zutrifft, so ist die von oben gegen die Hüftgelenkmitte wirkende Resultierende vertikal gerichtet und $= G + K$. Den Anteil K hat Ed. Weber unberücksichtigt gelassen. Die richtige Relation ist also nicht $G.s = K.r$, sondern $(G + K).s = K.r$.

Geht man vom zweiarmigen Hebel aus und vom Gleichgewicht der Drehungsmomente der am Fuß angreifenden Kräfte gegenüber einer Drehungsachse, welche der Achse des Fußgelenkes entspricht, so darf man wieder ohne großen Fehler das Gewicht des Fußes vernachlässigen. Der Widerstand des Bodens wirkt am ersten Metatarsalköpfchen nach oben in der Schwerlinie des Körpers im Betrag $-G$. Man bekommt

absolute

dann die Relation $G \,.\, s = K \,.\, k$, wobei s wieder den horizontalen Abstand zwischen den Vertikalen durch das erste Metatarsalköpfchen und die Mitte des Fußgelenkes, k aber den Abstand der Zuglinie der Achillessehne von der Mitte des Fußgelenkes bedeutet. Um den von oben durch die Tibia gegen letztere hinwirkenden Druck braucht man sich dabei nicht zu kümmern, da sein Drehungsmoment mit Bezug auf die genannte Achse $= 0$ ist. Es ist aber klar, daß er der Resultierenden des Widerstandes und des Muskelzuges an der Ferse Gleichgewicht halten muß. Obige Relation $G \,.\, s = K \,.\, k$ ist von Henke und Knorz und von Ewald aufgestellt worden. Da $k = r - s$, so ist diese Gleichung dentisch mit der obigen Gleichung $(G + K)\, s = K.r$.

Handelt es sich nur darum, die Größe der Spannung zu bestimmen, welche in den Wadenmuskeln entwickelt werden muß, um den Körper auf einem Fuß im Zehenstand zu halten, so kann man sich dieser Betrachtungsweise bedienen; man sollte dann freilich noch die tiefen Wadenmuskeln, welche an einem anderen Krafthebel mitwirken, berücksichtigen (s. u.). Sollen dagegen die Bedingungen genauer erörtert werden, unter denen die Abhebung der Ferse vom Boden zustande kommt, so genügt diese vereinfachte Betrachtungsweise nicht. Es müssen dann die Bedingungen der Drehung des Fußes gegenüber dem vorderen Unterstützungspunkt und des Unterschenkels gegenüber dem Fuß analysiert, auch die Schwere des Fußes muß mit in Anschlag gebracht werden. Eine derartige Analyse hat O. Fischer unternommen und in glänzender Weise durchgeführt (1895 und 1902).

Wir geben im folgenden die wesentlichen Punkte der interessanten Ableitung von O. Fischer in vereinfachter Form wieder, unter Wahl einer eigenen Buchstabenbezeichnung.

Genauere theoretische Analyse der Bedingungen des Zehenstandes und der Erhebung des Fußes auf die Zehen.

1. Zehenstand.

Kräfte am Oberstück.

Für den Fall, daß die Achsen der beiden oberen Sprunggelenke zusammen-llen und an beiden Füßen symmetrische Stellungen und Kräfte vorhanden sind, nn man sich beide Seiten zu einem einzigen Oberstück und einem Unterstück rbunden und die symmetrischen Kräfte zu einfachen sagittalen Kräften ver-nigt denken.

Jede am Oberstück angreifende Kraft (Schwere und Zug der das Sprung-lenk überschreitenden Muskeln) und ebenso jede am Unterstück angreifende raft (Schwere, resultierender Widerstand s Bodens, Zug der das Sprunggelenk erspringenden Muskeln) kann man sich setzt denken durch drei Kräfte, indem an eine gleich gerichtete, am gleichen ück angreifende gleich große, gegen die prunggelenkachse gerichtete Kraft und ne entsprechende Gegenkraft hinzufügt. tztere bildet mit der primären Kraft ein räftepaar, dessen Moment gleich jener sten Kraft und ihrem Abstand von der prunggelenkachse ist. Dieses Moment ist gleich das statische Moment des Kräfte-ares mit Bezug auf die Sprunggelenkachse ler mit Bezug auf irgend eine andere da-parallele Achse. Es halten sich dann die f die Sprunggelenkachse o entfallenden inzelkräfte gegenseitig Gleichgewicht; die f das Oberstück sowohl als die auf das nterstück wirkenden Kräftepaare geben je nter sich ein resultierendes Kräftepaar om Moment 0.

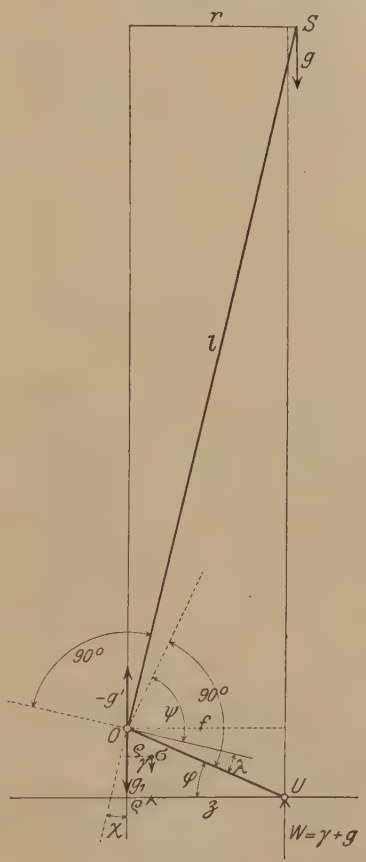


Fig. 115.

Die Schwere des Oberstückes wirke s Kraft g im Abstand r von der Drehungs-chse des oberen Sprunggelenkes (Fig. 115); e kann ersetzt werden durch eine parallel nd gleich gerichtete und gleich große Kraft ₁, welche nach der Drehungsachse o hin irkt und ein Kräftepaar vom Moment g.r. Diesem Kräftepaar muß Gleichgewicht ge-alten sein durch das Kräftepaar, welches ch bei analoger Zerlegung des resultieren-en, im Abstand n von der Gelenkachse wir-enden Muskelzuges K am Oberstück er-ibt. Auf das Oberstück wirkt außerdem ie in der Figur nicht eingezeichnete, dem Muskelzug K entsprechende gleich große, m parallel aber gegen die Sprunggelenk-chse gerichtete Kraft $-K_1$ und endlich om Fuß her gegen diese Achse ein Druck-iderstand, welcher den Kräften g_1 und $_1$ Gleichgewicht hält. Der Abstand des nterstützungspunktes U von der Sprunggelenkachse sei $= \lambda$.

Kräfte am Unterstück.

Auf das Unterstück wirkt die Schwere des Fußes γ (im Schwerpunkt σ) n Abstand ϱ von der Sprunggelenkachse. ferner der Widerstand W des Bodens

an den Metatarsalköpfchen (Punkt U) im Abstand f von der Sprunggelenkachse. Diese Einwirkungen kann man ersetzen durch gleich große und gleich gerichtete Kräfte γ_1 und W_1 in der Sprunggelenkachse und durch die Kräftepaare $\gamma \cdot \varrho$ und $W \cdot \varphi \cdot \cos \lambda$, wobei φ den Winkel bedeutet, welchen die Linie λ mit dem horizontalen Boden bildet. W ist natürlich als vertikal nach oben gerichtet angenommen. Dazu kommt die Wirkung des Muskelzuges $-K$ auf den Fuß im Abstand n von der Sprunggelenkachse. An ihre Stelle setzen wir eine durch die Sprunggelenkachse nach oben gerichtete, gleich große, parallele Kraft $-K_1$ und ein Kräftepaar $-K_1 \cdot n$. Die Kräfte $-K_1$, W_1 und $-\gamma_1$ halten den von oben durch die Drehungsachse auf den Fuß wirkenden Kräften K_1 und g_1 Gleichgewicht und die Kräftepaare $-K \cdot n$, $\gamma \cdot \varrho$ und $W \cdot \varphi \cos \lambda$ müssen zusammen gleich 0 sein. Mit Bezug auf die parallel zur Fußgelenkachse durch den Unterstützungspunkt U gehende Achse ist das statische Moment des in U selbst angreifenden Widerstandes natürlich $= 0$, das statische Moment der Schwere γ des Fußes im Abstand ζ von $U = \gamma \cdot \zeta$, das statische Moment der in der Sprunggelenkachse angreifenden Komponente g_1 der Schwere des Oberstückes $= g_1 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi$. Außerdem kommt noch in Betracht der an der Ferse nach oben wirkende Muskelzug $-K$ und die umgekehrt in gleicher Größe durch die Sprunggelenkachse auf den Fuß einwirkende Kraft K_1. Beide zusammen geben ein Kräftepaar vom Moment $K \cdot n$, das gleich dem statischen Moment der beiden Kräfte mit Bezug auf die Achse U sein muß. Demnach müssen die statischen Momente $K \cdot n$, $\gamma \cdot \zeta$ und $g_1 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi$ zusammen $= 0$ sein. Dies gilt für den Fall, daß der Gesamtschwerpunkt des Körpers senkrecht über U gelegen ist.

2. Erhebung auf die Zehen.

Von einer bestimmten ruhenden Ausgangsstellung (Sohlenstand) aus, bei welcher nicht notwendig der gemeinsame Körperschwerpunkt senkrecht über dem I. Metatarsalköpfchen zu stehen braucht, sondern auch nach vorn oder nach hinten über demselben gelegen sein kann, soll das System so beeinflußt werden, daß die Ferse vom Boden abgehoben, der Winkel φ vergrößert, dem Fuß also eine positive Drehbeschleunigung φ'' erteilt wird. Dies ist nicht möglich, ohne daß zugleich der Schwerpunkt des Oberstückes bewegt resp. daß ihm und seiner Verbindungslinie l mit der oberen Sprunggelenkachse eine translatorische Beschleunigung $l \cdot \varphi''$ gleich derjenigen des Punktes 0, eventuell außerdem dem Oberstück eine bestimmte Drehbeschleunigung $\pm \chi''$ um die Achse 0 erteilt wird durch Änderung des Winkels χ, welchen die Linie l mit der Vertikalen bildet. Dem Schwerpunkt S würde durch letzteres eine zweite Beschleunigung $\pm \chi'' \cdot l$ erteilt werden.

Die Kräfte, welche diese Beschleunigungen zustande bringen, kann man sich als Effektivkräfte auf die im Schwerpunkt konzentrierte Masse m des Oberstückes wirkend denken. Die erforderlichen Effektivkräfte sind $m \lambda \cdot \varphi''$ und $m \cdot l \cdot \chi''$. Diese Kräfte müssen durch die Achse o des oberen Sprunggelenkes hindurch vom Unterstück her gegen das Oberstück in bestimmter Richtung wirken, durch Vermittlung der Widerstände des Gelenkes. Eine Gegenkraft von gleicher Größe und entgegengesetzter Richtung wirkt dabei natürlich auf das Unterstück zurück. (Die durch die Sprunggelenkachse auf das Oberstück stattfindenden Einwirkungen haben im allgemeinen, wenn sie nicht direkt gegen den Schwerpunkt s hin gerichtet sind, zugleich eine Einwirkung zur Drehung des Oberstückes um seinen Schwerpunkt, d. h. sie liefern außer den genannten Effektivkräften im Schwerpunkt noch je ein Kräftepaar, dessen Moment je gleich dem Produkt aus der resultierenden Einwirkung in der Sprunggelenkachse und ihrem Abstand vom Schwerpunkt S ist.) Die betreffende Drehung um den Schwerpunkt ist in der Drehbeschleunigung χ'' des Oberstückes gegenüber 0 implicite enthalten.

Bei der Drehbeschleunigung φ'' des Unterstückes (seiner Linie λ) um die Achse U kommen von Kraftmomenten in Betracht:

a) Die schon oben bei den Gleichgewichtsbedingungen berücksichtigten Kraftmomente $K_1 \cdot n$, $\gamma \cdot \zeta$ und $g_1 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi$, die nun aber zusammen nicht notwendigerweise $= 0$ zu sein brauchen.

b) Die Gegenwirkung des Oberstückes gegen das Unterstück durch die obere Sprunggelenkachse (s. o.); sie ist an Größe gleich, aber umgekehrt gerichtet wie

oben ermittelten effektiven Kräfte zur translatorischen Bewegung des Schwer-
ıktes s des Oberstückes, besteht also in $-m \cdot \lambda \cdot \varphi''$ und $\pm ml \cdot \gamma''$. Die
ste dieser Einwirkungen wirkt senkrecht zu λ, die zweite senkrecht zu l. Diese
den Kräfte haben auch ein drehendes Moment mit Bezug auf die Achse U, und
ar die erste Kraft (die senkrecht zu λ wirkt), das Kraftmoment $-m \cdot \lambda \cdot \varphi'' \cdot \lambda$,
zweite, welche senkrecht zu l wirkt und mit der zu λ senkrechten Richtung
Winkel ψ bildet, das Kraftmoment $\mp ml \cdot \chi'' \cdot \cos\psi \cdot \lambda$. Die Summe der beiden
aftmomente $m\lambda\,(-\varphi'' \cdot \lambda \mp \chi'' \cdot l \cdot \cos\psi'')$ ist nun aber $= \varphi'' \cdot T$ oder gleich der
hbeschleunigung des Fußes mal seinem Trägheitsmoment mit Bezug auf die
hse U, gemäß dem bekannten Satz: Drehbeschleunigung $= \frac{\text{Kraftmoment}}{\text{Trägheitsmoment}}$,
r Kraftmoment = Drehbeschleunigung × Trägheitsmoment.

Eine ähnliche Relation läßt sich für das Oberstück aufstellen, zwischen den
tischen Momenten der an ihm angreifenden Kräfte mit Bezug auf eine parallel
Fußgelenkachse o durch den Schwerpunkt S gehende Achse einerseits, der
hbeschleunigung χ'' und dem Trägheitsmoment des Oberstückes mit Bezug
die Schwerpunktsachse s andererseits. Folgende Kraftmomente kommen hier
Betracht:

a) Das statische Moment des Kräftepaares, das zusammen mit K_1 in der
runggelenkachse o für den resultierenden Muskelzug K am Oberstück gesetzt
Es ist gleich dem Moment K . n des Kräftepaares.

b) Das Moment des Kräftepaares, das neben einer Kraft g_1 in o an Stelle der
hwere g des Oberstückes gesetzt ist; es ist gleich dem Moment $g \cdot \lambda \cdot \cos\varphi$ dieses
äftepaares.

c) Die Kraftmomente der vom Unterstück her durch o einwirkenden Kräfte
$\cdot \varphi'' \cdot \lambda$ und $\pm m \cdot l \cdot \chi''$.

Aus den beiden Relationen, welche auf diese Weise für die Drehung des
erstückes und Unterstückes gewonnen sind, lassen sich nun die beiden Unbe-
nnten φ'' und χ'' berechnen für bestimmte Werte von γ, g, λ, l, K, n, φ, χ, ψ
w. Ebenso läßt sich das Verhältnis von φ'' zu χ'' ermitteln.

Es kam uns hier nur darauf an, den wesentlichen Gedankengang der
Fischerschen Ableitung verständlich zu machen. Auf die vollständige Ab-
tung der Endformeln können wir verzichten; letztere sind ziemlich kompliziert,
enso wie ihre Anwendung auf den einzelnen Fall. Wir begnügen uns damit,
nige von O. Fischer selbst ausgerechnete Resultate zu notieren. Wir bezeichnen
bei den Abstand der Schwerlinie des Oberstückes von o wie angegeben mit r (wie
positiv, wenn o hinten liegt) und mit G das ganze Körpergewicht. Das Kräftepaar-
oment K . n sei der Kürze halber mit D bezeichnet.

O. Fischer hat u. a. folgendes ermittelt:

a) Die Fersen werden vom Boden abgelöst, sobald das resultierende
rehungsmoment D der Muskeln mit Bezug auf o einen größeren Wert besitzt
s der Ausdruck

$$G \cdot f \cdot \frac{7{,}312 + r \cdot \cos\psi}{7{,}312 + \cos\psi}.$$

b) Für den Fall, daß in der Anfangsstellung der Körperschwerpunkt vertikal
er der Metatarsalachse U liegt, ist die Beschleunigung, welche er beim Ablösen
r Fersen im Anfang erhält, nicht genau vertikal nach oben, sondern zugleich
was nach vorn gerichtet (4°). Trotz dieses Wanderns des Schwerpunktes
ch vorn, das schon durch Grützner experimentell nachgewiesen wurde, fällt
r Körper nicht nach vorn um, weil er auf der breiten Berührungsfläche des
llens etwas nach vorn rollt.

Weitere Bemerkungen über die Streckaktion am oberen Sprunggelenk.

Ich betone ausdrücklich, daß die Verschiebung des Schwerpunktes etwas
ch vorn (für den Anfang der Bewegung aus dem Sohlenstand) von mir nicht be-
tigt werden konnte. Bei aufmerksamer Beobachtung wird man umgekehrt

eine Bewegung des Schwerpunktes nach hinten und oben finden. Dies hängt mit der gleichzeitigen Wachrufung von horizontalen Widerständen zusammen. Liegt der Körperschwerpunkt vertikal über der gemeinsamen Achse der oberen Sprunggelenke, so ist ein Ablösen der Ferse (entgegen der Behauptung von L. Hermann und in Bestätigung der Annahmen von Gad, Ewald, A. Fick und namentlich von Grützner) möglich, ja es ist hierzu sogar ein kleineres resultierendes Drehungsmoment und also eine etwas geringere Spannung der beteiligten Muskeln nötig, als im Falle der Lage des Schwerpunktes über der Metatarsusachse. Die Beschleunigung des Schwerpunktes ist dabei nach hinten und oben gerichtet und zwar um so mehr, je näher D dem zur Ablösung nötigen Minimum kommt, während bei sehr starker Anstrengung der Streckmuskeln die Beschleunigung des Schwerpunktes sich der rein vertikalen Richtung nähert.

Aus dieser Ausgangsstellung, die z. B. gegeben ist, wenn man sich aufrecht, mit den Zehen und der Brust bis zur Berührung vor eine Wand stellt (Brustwandstellung), ist ein langsames Abheben der Ferse und Aufrichten des Körpers in den Zehenstand, unter steter Äquilibrierung natürlich nicht möglich, wie schon Grützner gefunden hat.

Es sei mir hier gestattet, darauf hinzuweisen, daß ich die ganze Frage schon 1880 in den „Grundbedingungen der aktiven Lokomotion" im wesentlichen richtig behandelt habe (S. 60). Es heißt dort:

„Wo der Fuß dem Boden der Länge nach aufliegt, wird im allgemeinen durch „Streckung des Fußgelenkes ein Widerstand an der Spitze des Fußes erzeugt, der „nach oben und hinten gerichtet ist. Der Druck des hinteren Endes des Fußes „auf die Unterlage mindert sich, ja das Fußgelenk kann trotz der Schwere des auf „ihm lastenden Körpers bei sehr energischer Aktion vom Boden abgehoben werden, „der Körperschwerpunkt erhält einen Impuls nach oben und hinten. Nur wenn „das Knie und der ganze Körperschwerpunkt erheblich weit nach vorn rücken, „kann Streckung des Fußgelenkes einen nach vorn oben gerichteten Widerstand „erzeugen. Beim Menschen kann der Körperschwerpunkt noch ein erhebliches „Stück vor dem stützenden Ende der vorderen Fußfläche liegen, während er doch „noch durch Streckung des Fußes einen Impuls nach hinten erhält. Ist das Fuß„gelenk aber schon vom Boden abgehoben, der Fuß selbst steil gegen den Boden „gerichtet, so bewirkt weitere Streckung des Fußgelenkes schon bei weniger weit „nach vorn gerücktem Knie einen Widerstand, der nach vorn oben gerichtet ist „und meist nach vorn vom Hüftgelenk, ja dem Körperschwerpunkt vorbeizielt" (vgl. auch Anmerkung 2, S. 61 u. 63, Punkt 4).

Ich habe also schon damals von allgemeinen theoretischen Gesichtspunkten aus und auf Grund von Beobachtungen ausgesprochen, daß eine Erhebung aus dem Sohlenstand in den äquilibrierten Zehenstand durch alleinige Aktion der Streckmuskeln des Fußgelenkes bei gestreckten Knien nicht möglich ist. Anders liegen die Verhältnisse bei stark gebeugten Knien. Es müssen also beim Übergang aus dem Sohlenstand in den äquilibrierten Zehenstand bei annähernd gestreckten Knien, mag er langsam oder schnell geschehen, notwendigerweise andere Kräfte außer den Streckern des Fußgelenkes mitwirken. Wie Grützner durch eine sehr hübsche photographische Methode beim Lebenden gezeigt hat (Pflügers Arch. 73, 1898), wird der Körper zunächst im ganzen nach vorn geneigt, so daß der Körperschwerpunkt über den Zehenballen verlegt wird, wobei er sich schon etwas hebt; dies geschieht durch Beugung im Fußgelenk und, namentlich bei nach vorn gehobenen Armen, im Kniegelenk, unter stärkerem Durchdrücken des Knies (Streckung) nach hinten. Jetzt erst erfolgt die Abhebung der Ferse und die Haupthebung des Körpers durch Streckung der Fußgelenke. Nun habe ich aber gezeigt (1880), daß die Aktion der Kniestrecker bei senkrecht über dem Fuß gelagertem Knie den Körperschwerpunkt nicht vorwärts, sondern nach hinten in die Höhe treibt. Ich möchte also glauben, daß neben der Aktion der Fußgelenkbeuger zur Vorbewegung des Körperschwerpunktes nicht die Kniestrecker, sondern ganz besonders die Strecker des Hüftgelenkes in Betracht kommen; die Bedeutung dieser Muskeln für die Vorbewegung des Körpers habe ich in der zitierten Untersuchung genügend klargestellt. Das Durchdrücken des Knies ist wesentlich der Effekt der Aktion am Hüftgelenk (S. 70, An-

rkung). Auch die Strecker der Wirbelsäule haben einen Einfluß zur Vorbe-gung des Körperschwerpunktes, ebenso die Vorführung der Arme.

Man darf nicht übersehen, daß wir durch die Aktion der Streckmuskeln wirklich zustande kommender Streckbewegung einen Schlag oder Stoß mit der rdersohle gegen den Boden ausüben. Dem entspricht die oben erwähnte Zunahme s Druckes und Gegendruckes an den Zehen. Je energischer die Streckbewegung , desto größer ist diese Zunahme. Sie ist der charakteristische Effekt der Streck-tion gegenüber dem Verhalten, wie es durch bloße Wegnahme der Fersenunter-tzung sich zeigen würde. Es handelt sich um einen „lokomotorischen Effekt". e lokomotorische Streckaktion treibt bei gestrecktem Knie im Sohlen- und henstand den Körper nach oben und mehr oder weniger rückwärts, bei vor-neigtem Bein und Körper aber nach oben und vorn. Es ist dabei völlig gleich-tig, ob die aktive Streckung langsam oder schnell geschieht, auch bei nur kleiner rschiebung aus einer Ruhestellung in eine zweite ist eine Vergrößerung der annung der Streckmuskeln und ihres Drehungsmomentes (oder eine Verminde-ng in der Spannung allfällig gespannter Antagonisten) notwendig. Dadurch d eine Winkelbeschleunigung und Winkelgeschwindigkeit erzeugt, welche erst eder durch die der Bewegung entgegenstehenden Widerstände aufgebraucht rden muß, wenn in einer neuen Stellung ein Ruhezustand eintreten soll. Die rve der Muskelspannung wird also zu Beginn einer noch so kleinen Exkursion er den Mittelwert, der zur Feststellung notwendig ist, sich erheben und im zweiten il unter diesen Mittelwert absinken, um in der Endlage wieder den zur Fest-llung nötigen Wert zu erreichen. Die Kurve ist Sförmig. Damit ist nicht ge-gt, daß die Endspannung höher sein muß als die Anfangsspannung. Sie kann ich groß oder sogar niedriger sein. Meist allerdings wachsen mit der Verkürzung s Muskels die Widerstände im Gelenk und in den Antagonisten. Auch ist zu denken, daß die gleiche Spannung im verkürzten Muskel nur dank größerer nervationsanstrengung und vielleicht auch unter größerem Stoffumsatz aufrecht halten bleibt.

Selbst bei kleinen Exkursionen aus einer äquilibrierten Stellung in eine zweite d bei einer ganz langsamen Exkursion, die man sich allenfalls aus lauter solchen einen Schüben zusammengesetzt denken kann, spielen also initiale Beschleuni-ngen durch Anspannung der bewegenden Muskeln eine Rolle. Ein prinzipieller nterschied ist nicht vorhanden. Es ist deshalb nicht zu billigen, daß H. v. Meyer ei Arten der Aktion der Fußgelenkstrecker, eine hebende und eine abstoßende useinander gehalten hat.

) Aktion der Beuger des oberen Sprunggelenkes und Bedeutung der Ferse beim Stand.

Werden bei äquilibriertem Stand auf voller Sohle die Streckmuskeln ärker angespannt, ohne daß zugleich durch eine Aktion der Hüftgelenk-recker der Schwerpunkt nach vorn über die Zehen verlegt wird, so wird var die Ferse entlastet und der Druck und Gegendruck an den Zehen mmt zu, es kann sogar eine Streckung des Fußgelenkes bei genügend nergischer Aktion und eine Abhebung der Ferse vom Boden zustande ommen. Jedenfalls aber beginnt der Körper, da der resultierende Widerstand (eventuell vor der Schwerlinie vorbei) nach oben und hinten irkt, nach hinten zu fallen. Wird die Streckaktion durch die Aktion r Hüftgelenkstrecker genügend rasch sistiert, und tritt etwa noch eine ktion der Fußbeuger hinzu, so daß die Ferse rasch wieder zum Stütz-unkt wird, bevor die Schwerlinie über sie hinaus nach hinten gegangen t, so kann unter Umständen die Fallbewegung nach hinten noch ge-mmt, und es kann daraufhin umgekehrt eine Fallbewegung nach vorn ngeleitet werden; so können wir uns, ohne mit der Sohle den Boden

zu verlassen, durch abwechselnde Anspannung der Beuger und Strecker von den Zehen gegen die Ferse und von der Ferse gegen die Zehen hin wiegen.

Fällt die Schwerlinie des Körpers beim Stand hinter die Sprunggelenkachsen, so ist eine Anspannung der Beuger des Fußgelenkes notwendig, um das Hintenüberfallen des Körpers in den oberen Sprunggelenken zu verhindern. Doch ist der Stand auf der Sohle noch gesichert, solange die Schwerlinie nicht hinter die Fersen rückt. Auch der Stand auf den Fersen allein, bei vorn gehobenem Fuß, ist möglich bei richtiger Anspannung der Beugemuskeln. Die Bedingungen des Fersenstandes und der Erhebung auf die Ferse sind ganz analog denjenigen beim Zehenstand und brauchen hier nicht weiter erörtert zu werden.

Machen wir im gut äquilibrierten Stand auf den Fersen eine plötzliche und energische Aktion zur Beugung des Fußes, so fallen wir nach vorn. Dies zeigt, daß ein neuer, vorwärts gerichteter Widerstand an der Ferse erzeugt worden ist, und daß bei der Beugebewegung des Fußes die Ferse als ein hinterer Hebelarm des Fußes nicht einfach senkrecht zur Sohle nach unten schlägt, sondern zugleich in ihrer Längsrichtung einen Stoß nach hinten ausführt. Auf dieser Wirkungsweise beruht nun z. T. der Nutzen der mächtigen Entwicklung der Ferse und ihre Einbeziehung in die Fußsohle beim Menschen. Es handelt sich nicht bloß um die Vergrößerung der Unterstützungsfläche und um die Verlängerung des Krafthebels der hauptsächlichen Streckmuskeln des Fußes, sondern zugleich um die deutlichere Ausgestaltung des Fußes zu einem zweiarmigen Widerstandshebel, der abwechselnd sowohl hinten als vorn gegen den Boden wirken kann. Nicht bloß kann durch Senkung der Ferse, solange der Körperschwerpunkt noch über der Sohle steht, der Stützpunkt ausschließlich nach hinten verlegt und eine Tendenz zur Fallbewegung nach vorn hergestellt werden, wodurch sich unter Umständen ein beginnendes Rückwärtsfallen des Körpers noch sistieren läßt, — es kann außerdem durch energische Aktion der Beugemuskeln und Schlag der Ferse gegen den Boden dem Körperschwerpunkt ein sofortiger energischer Impuls nach vorn erteilt werden, ebenso wie ihm durch Streckaktion und Schlag der Fußspitze gegen den Boden ein rückwärts gerichteter Impuls erteilt wird. Daß dies für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes gegenüber vorwärts oder rückwärts gerichteten störenden Einwirkungen von großer Bedeutung ist, liegt auf der Hand. Diese Bedeutung der Ferse ist von mir zuerst (1880, Grundbedingungen der aktiven Lokomotion) klargestellt worden.

Das normale Stehen ist nach all diesen Auseinandersetzungen kein Verharren in einer einzigen ganz bestimmten typischen Stellung des Fußes. Weder die Normalstellung von Braune und Fischer, noch irgendwelche andere „Normalstellungen“ können auf eine besondere Bevorzugung Anspruch erheben. Vielmehr handelt es sich um ein Äquilibrieren des Körpers bei wechselnder Lage des Schwerpunktes über den Sohlen.

H. v. Meyer hat eine Lehre aufgestellt, wonach beim aufrechten Stand in rschiedenen Gelenken des Beines unter Mitwirkung der Schwere eine passive ststellung in extremer Gelenklage zustande kommt und durch die Feststellung s einen Gelenkes auch zugleich wie durch eine Art Sperrvorrichtung auch die tstellung anderer Gelenke des Beines erleichtert wird. Es kommen hierbei ch die Sprunggelenke in Betracht. Wir werden auf diese Lehre nach Berechung des Kniegelenkes näher eintreten.

f) Inanspruchnahme der Fibula und der Tibio-Fibularverbindung.

Im Falle der Feststellung des oberen Sprunggelenkes lassen sich im gemeinen die am Oberstück und die am Unterstück angreifenden äfte je durch drei Kräfte ersetzen, die in der gleichen Ebene wirken d sich an dem betreffenden Stück Gleichgewicht halten. Von den Oberstück wirkenden Kräften hat jede mit einer der drei am Unterick angreifenden die gleiche Kraftlinie und ist ihr an Größe gleich, r Richtung nach aber entgegengesetzt. Die mittlere der drei Kräfte gegen die Achse des oberen Sprunggelenkes hin gerichtet, und zwar rkt die am Oberstück angreifende Kraft in der Regel mehr oder weniger ekt nach unten, die entsprechende Gegenkraft am Fuß nach oben (s. Allgemeiner Teil S. 144 ff.). Es ist nun im Grunde genommen besonderer Ausnahmefall, wenn die nach der Gelenkachse gerichtete aft genau mit der Hauptebene des Gelenkes zusammenfällt, und viel ufiger wird es vorkommen, daß eine in der Richtung der Achse wirkende mponente vorhanden ist. Wirkt dieselbe am Fuß nach außen, so ibt sich eine Druckwirkung zur seitlichen Abdrängung des äußeren öchels von der Tibia. Auch die außerhalb der Achse wirkenden äfte liegen durchaus nicht immer in der Hauptebene des Gelenkes; r allgemeine Fall ist auch hier, daß sie in einer schiefen Ebene wirken, daß auch in Ebenen, welche mit der Achse zusammenfallen, Gleichwicht der statischen Momente vorhanden sein muß. Während nun r die Feststellung in der Hauptebene außer der axialen Druckkompoente die passiven Widerstände des Gelenkes nicht in Anspruch genommen sein brauchen, muß dies in der Regel zur Verhinderung der Drehung d Heraushebelung des Fußes in axialen Ebenen der Fall sein. Mit deren Worten: außer einem gleichmäßigen seitlichen Druck der Talusle gegen den medialen oder lateralen Knöchel kann sich auch ein einitig stärkerer Druck gegen den hinteren oder vorderen Rand oder gen die Spitze des Malleolus, oder kann sich ein stärkerer Zug in den m Rand des Knöchels zum Fuß hinübergespannten Bändern geltend achen. Wie solchen Einwirkungen gegenüber die Fibula und ihre rbindung mit der Tibia sich verhalten, wurde teilweise schon auf S. 233 sprochen (s. auch I. Bd. d. Lehrb. S. 154).

Die hier in Betracht kommenden, die Fibula gegenüber der Tibia wegenden Kräfte, wirken gewissermaßen zwischen dem Fuß und der bia einerseits (wobei diese beiden Elemente als miteinander versteift zusehen sind) und dem äußeren Knöchel andererseits. Wir können seinanderhalten: Einflüsse zur Einwärts- und Auswärtsbewegung des nöchels, solche zur Aufwärts- oder Abwärtsbewegung und solche zur

Vor- und Rückwärtsschiebung neben dem Ende der Tibia, endlich längsdrehende Einwirkungen. Kleine Verschiebungen entlang der Tibia sind durch die Ligg. tibio-fibularia besonders bei Plantarstellung des Fußes, bei welcher diese Bänder erschlafft sind, gestattet. Sie ergeben sich auch als notwendige Begleiterscheinung allfälliger Biegungen der Fibula, selbst wenn sich dabei auch das obere Ende der Fibula an der Tibia verschiebt. Das Vorhandensein von trennenden Gelenkspalten zwischen der Tibia und dem oberen Ende sowohl, als dem unteren Ende der Fibula steht in Korrelation zu dem Getrenntbleiben der beiden Unterschenkelknochen und zu der Schlankheit und Biegsamkeit des Wadenbeins.

Die Abdrängung des lateralen Knöchels vom medialen kann zu wirklicher, wenn auch geringer Abhebung der Fibula vom unteren Ende der Tibia führen; die Bewegung muß aber, nach Maßgabe wie sich die unteren tibio-fibularen Bänder spannen und den Bewegungswiderstand leisten, in eine Drehung umgewandelt werden, bei welcher die über den Bändern gelegenen Teile der Fibula der Tibia genähert werden. Da aber das obere Ende der Fibula an die Tibia anstößt und von ihr zurückgehalten wird, so muß die Fibula mit der Mitte gegen die Tibia zu ausgebogen werden, unter anwachsendem federndem Widerstand. Dabei nähert sich natürlich das obere Ende dem unteren und schleift an der oberen Ausladung der Tibia unter fester Anpressung in der Richtung nach dem Mittelstück der Tibia hin. Der Betrag der Exkursion kann allerdings nur ein äußerst geringer sein.

Wird umgekehrt die Spitze des äußeren Knöchels nach innen gezogen, so findet eine umgekehrte Hebelung statt, bei welcher sich die Mitte der Fibula von der Tibia entfernt. Auch in diesem Fall wird sich das Fibulaköpfchen am Schienbein etwas verschieben. Eine Einbiegung des Wadenbeins gegen die Tibia hin kann natürlich auch durch direkte äußere Gewalt, welche den Unterschenkel zusammenpreßt, herbeigeführt werden.

Die eine Wange der Tibiagabel ist, wie man sieht, eine etwas nachgiebige, unter federndem Widerstand verschiebliche. Das biegsame Mittelstück des Wadenbeins, das sich brückenartig frei vom oberen zum unteren Ende des Schienbeins spannt, bildet einen wesentlichen Teil des Federapparates.

Die federnde Sicherung des Gelenkes zwischen Fuß und Unterschenkel ist eine sehr nützliche Einrichtung, welche die Gewalt der Stöße zwischen Unterschenkel und Fuß mildert. Es kommt aber auch häufig vor, daß die Festigkeit des Wadenbeins den Ansprüchen nicht genügt. Bei allzu starkem und plötzlichem Zug am Knöchel nach unten und innen reißt er ab oder bricht auf dem oberen Rand der Talusrolle, indem der Schaft in seiner ganzen Länge mehr gleichmäßig von der Zwischenknochenmembran zurückgehalten wird. Wird aber der Knöchel gewaltsam nach außen gedrängt, so bricht leicht der nach innen gebogene Schaft der Fibula näher der Mitte und zwar in der Regel unterhalb derselben.

Federnde Feststellung des Talus in der Beugestellung.

Die Beugung im oberen Sprunggelenke wird schon vor der Erchung der Endstellung durch Gelenkwiderstände gehemmt, indem ja bei der breitere vordere Teil der Talusrolle in die Gabel der Unterenkelknochen eintritt. Dieser festere Zusammenschluß der Gelenkle erfolgt beim Gehen gerade dann, wenn die Vorbewegung des Unterenkels über dem voll aufgesetzten Fuß gehemmt werden muß, und gt zu dieser Hemmung bei. Unmittelbar darauf beginnt die Streckung Fußgelenk und die Abrollung des Fußes. Es liegt nun nahe anzumen, daß die aktive Spannung der Wadenmuskeln schon während letzten Phasen der Fußgelenkbeugung einsetzt und zu ihrer Hemmung enfalls beiträgt.

Die durch das Eindringen der dicken Teile der Rolle bewirkte ternde Spannung der Ligg. tibio-fibularia kann für die nachfolgende eckung ausgenutzt werden, doch nur insofern als diese genügend gsam vor sich geht. Für eine sehr rasche Anfangsstreckung würde Federspannung durch Vermehrung der Reibung nur hinderlich sein.

. Die besonderen Einrichtungen der Fußonstruktion zur Festigung gegen Belastung.

Die Wölbung des Fußes. Allgemeines über Gewölbekonstruktionen.

Die untere Extremität des Menschen ist im Vergleich zu der hinteren xtremität der vierfüßigen Säugetiere vor allem ausgezeichnet durch e Streckung des Hüft- und Kniegelenkes und die rechtwinklige Abickung des Fußes gegenüber dem Unterschenkel im Stand, ferner im rgleich zu manchen Formen der Vierfüßler durch die mächtige Entcklung des Fersenbeins, den Stand auf der ganzen Länge der Sohle n den Zehen bis zur Ferse und die Vielgliedrigkeit und Vielstrahligkeit s Fußes, welche als Zeichen eines sehr ursprünglichen Verhaltens des ndteiles der Extremität aufgefaßt wird.

Indem das Fersenbein, das aus dem fibularen Fußrand hervorgengen ist, dem Boden aufgesetzt wird, ist die Plantarseite des Fußes it ihren reichlichen Muskeln wenigstens im proximalen Teile nach innen wendet. Durch die Torsion des Fußes gelangen dabei die tibialen trahlen innen vorn neben den fibularen zur Berührung mit der Unterlage; ist auf diese Weise eine Art Nische gebildet, in welcher die plantaren uskeln, Gefäße und Nerven, wenigstens teilweise vor Druck geschützt, latz finden. Mit der Ausbildung der Ferse und der Torsion des Fußes ngt also die Bildung des sog. Nischengewölbes zusammen.

Obschon die Vorragung des Fersenbeins bei Zehengängern nicht öllig fehlt, manchmal sogar mächtig entwickelt ist, spielt sie bei ihnen

doch nur die Rolle eines Muskelfortsatzes. Der Fuß kann zwar in der Längsrichtung etwas gebogen sein, mit dorsaler Konvexität; er wird aber beim Stand nicht wie ein Gewölbe mit seinen Enden und Seitenrändern dem Boden aufgesetzt, sondern ist eher dem abgebogenen, mit dem Ende aufgesetzten Kandelaberfuß vergleichbar. Der Ausbiegung nach unten leistet er größeren Widerstand; gegen stärkere Aufbiegung seiner Enden wird er passiv oder durch Muskelspannung festgestellt; vermöge seiner Gliederung aber läßt er sich nach der unteren (plantaren) Seite in erheblichem Maße zusammenbiegen. Ähnlich verhält sich der Menschenfuß beim Zehenstand.

Nun fragt sich, ob und wieweit das Fußskelett des Menschen nicht bloß in seiner äußeren Form, sondern auch seiner inneren Konstruktion nach die Eigenschaften eines Gewölbes besitzt und zum Widerstand gegen Belastung besonders geeignet ist.

Es gibt aus einzelnen Bausteinen zusammengefügte Rundbogen- und Kuppelgewölbe, in welchen die Last des Gewölbes selbst, eventuell auch noch eine weitere Belastung durch die Fußpunkte des Gewölbes auf den Boden übertragen wird, ohne daß besondere Bindemittel zwischen den Gewölbesteinen notwendig sind. Ein geeigneter Gewölbesteinschnitt ist dabei unerläßlich. Die Fugen konvergieren nach unten gegeneinander. Ein keilförmig zugeschnittener Schlußstein krönt im allgemeinen die Konstruktion.

Ein solches Gewölbe mit Fugen ohne Bindung ist unter folgenden Umständen festgestellt. An irgend einer Fuge muß die Resultierende aus dem Druck der Fugenflächen gegeneinander und dem Reibungswiderstand nach beiden Seiten auf die hier zusammentreffenden, in sich starr gedachten Gewölbestücke so einwirken, daß sie den übrigen auf dieses Stück wirkenden Kräften, dem Eigengewicht, einer allfälligen weiteren Belastung von oben und dem Widerstand des Bodens am zugehörigen Fußpunkt Gleichgewicht hält. Die Richtung der Resultierenden darf von derjenigen der Normalen der Fugenfläche nur innerhalb gewisser Grenzen (die bei hohem Druck weiter sind) abweichen. Nach den Fußpunkten des Gewölbes hin nähert sich ihre Richtung mit jeder Fuge mehr der Richtung des Widerstandes am Unterstützungspunkt. Man kann sich die betreffenden Kraftlinien zu einem gebrochenen Trajektorium (Drucklinie) verbunden denken. Je weniger das Eigengewicht der Gewölbeteile gegenüber der Belastung in Betracht kommt, desto geringer ist die Richtungsänderung in diesem Trajektorium in den beiden Abschnitten jederseits von der Angriffsstelle der Belastung. Der an den Fußpunkten des Gewölbes jederseits auf die Unterlage übertragene Druck muß unter allen Umständen eine größere oder kleinere auswärts gerichtete Komponente enthalten. Diesem muß Gleichgewicht gehalten sein entweder durch einen horizontalen Widerstand der Unterlage oder durch eine untere, zugfeste Verklammerung des Gewölbes. Fehlen solche horizontalen Gegenkräfte und wirken an den Fußpunkten dem Gewicht und der Belastung des Gewölbes wesentlich nur vertikale Widerstände des Bodens entgegen, so können an den einzelnen Gewölbefugen im allgemeinen obige Feststellungsbedingungen nicht erfüllt sein. Eine einzige aus Druck- und Reibungswiderstand gebildete Resultierende genügt dann nicht, um von dem einen Gewölbestück her den am anderen Gewölbestück wirkenden äußeren Kräften Gleichgewicht zu halten; es sind vielmehr dazu zwei an verschiedenen Punkten angreifende Kräfte der Fuge und ihre Gegenkräfte notwendig. Zu dem Druck- und Reibungswiderstand muß eine Zugkraft hinzukommen, welche das Aufklaffen der Fuge hindert, und ein besonderer Abscherungswiderstand gegen die Verschiebung parallel der Fugenfläche. Eine Feststellung ist an der betreffenden Fuge ohne besondere Bindung (und Verschränkung) nicht möglich. Eine solche

nstruktion unterscheidet sich nicht wesentlich von einer Brücke, die aus eln miteinander verbundenen Gliedern aufgebaut ist. Die Wölbung ist dabei mr oder weniger nebensächlich.

Auch bei einem sehr vollkommenen Rundbogen- oder Kuppelwölbe mit möglichst günstigem Gewölbesteinschnitt besteht in den neitelfugen des Gewölbes ein Horizontaldruck, den die hier zusammenenden zwei Gewölbeschenkel, welche das Bestreben haben gegenander umzukippen, aufeinander ausüben, und durch welchen sie sich enseitig aufrecht halten. An den Fußpunkten des Gewölbes muß auch ein Seitendruck bestehen, welcher dem maximalen Horizontaldruck Scheitel entspricht. Bei der relativ flachen Wölbung des Fußes der starken Belastung des Gewölbescheitels müßte bei fehlender zelbindung der Glieder der Horizontaldruck am Scheitel und der tenschub an den Stützpunkten ein sehr großer sein. Da aber das gewölbe nicht wie ein Gewölbebogen der Technik zwischen feste lerlager eingeklemmt ist und die Reibung des Bodens nicht entfernt ügt, um einem solchen Seitenschub Widerstand zu leisten, so kann r von einer Feststellung ohne zugfeste Verbindung nicht Rede sein. Das Auseinandertreten der Fußpunkte und der Einch des Gewölbes kann hier nur entweder durch eine gemeinsame ntare Verklammerung der entgegengesetzten Endpunkte, oder durch klammerung der einzelnen Stücke untereinander (Zugwiderstände an Plantarseite der einzelnen Fugen) verhindert sein. Im letzteren Falle d der gegliederte Gewölbebogen an jeder einzelnen Gliederungsstelle Durchbiegung nach unten in Anspruch genommen. Es können aber h beide Arten der Sicherung miteinander kombiniert sein. So wenig geprägt die gemeinsame Verklammerung sein mag, so würde sie doch geeignetem keilförmigen Zuschnitt der Skelettstücke ermöglichen, 3 der Abscherungsverschiebung in den einzelnen Fugen durch die ibung verhindert ist, an den Fugen also wesentlich nur Druckwidernd und in den plantaren Bändern Zugwiderstand, wesentlich in der ngsrichtung des betreffenden Gewölbeteiles geleistet zu werden ucht. Auf diese Verhältnisse hin haben wir also das Fußgewölbe prüfen.

Plantare Bindungen und Verklammerungen am Fuß.

Dem Reibungswiderstand des Bodens gegen den Seitenschub der dpunkte des Fußgewölbes kann eine konstante, nennenswerte Betung nicht zukommen. Er fällt vollkommen außer Betracht beim henstand, während doch auch in diesem Fall der Fuß wie eine ücke belastet ist und gegen Abwärtsdurchbiegung gefestigt sein muß. ne untere Verklammerung kann durch plantare Bänder oder Muskeln, er durch die Plantarfaszie bewirkt sein.

Man wird hierbei vor allem an die kurzen Muskeln der Fußhle denken. Ihre vorderen Ansätze an den Zehen sind mit diesen genüber der übrigen Fußplatte beweglich. Wenn aber die Metatarsal-

gelenke und Zehen im Stand dem Boden angelegt und durch die Belastung des Fußes angedrückt sind, wirkt ihre Spannung zur unteren Längsverklammerung des Fußgewölbes hinter den Zehen. Wo sie nicht die ganze Länge der Fußsohle von der Ferse bis zur Zehe überspannen, dienen sie doch zur plantaren Verklammerung kürzerer, immer noch mehrgliedriger Fußabschnitte. Soweit sie schräg stehen, dienen sie zur Verklammerung des Gewölbes auch in schräg gestellten Linien.

Weniger einfach zu beurteilen ist der Einfluß der vom Unterschenkel kommenden, unter dem Sprungbein vorbei zu den vorderen Teilen des Fußes (Strahlen) gehenden Muskeln. Für die Wirkung auf das obere Sprunggelenk kommt nur der Zug in den freien, oberhalb der Umbiegungsstelle am Talus gelegenen Partien in Betracht, für die Wirkung auf die unteren Sprunggelenke die Spannung der distal von den ersten Umbiegungs- oder Rollenpunkten am subtalaren Fußteil gelegenen Sehnenstücke. Die Spannung aber in den distalwärts gelegenen Sehnenabschnitten ist in ihrer Wirkung derjenigen von Bändern des Fußes resp. des subtalaren Fußabschnittes gleich zu setzen. (Vgl. Allgemeiner Teil, Bd. I, S. 159.) Als ihre hinteren Anheftungspunkte müssen dabei jene Umbiegungspunkte gelten. Die Spannung der langen am Sprungbein vorbeiziehenden Sehnen dient also nicht zur Verklammerung des Fußgewölbes in seiner ganzen Länge, sondern kommt nur den vorderen Teilen zugut, am Tibialis post. z. B. vom Taluskopf und Rand des Sustentaculum tali (Retinacula) an, am Flexor hallucis longus vom Sustentaculum tali, am Peroneus longus vom Kuboid an. Auch ist die Spannung variabel und nicht unmittelbar von der Abplattung des Fußgewölbes abhängig, während solches bei den plantaren Bändern und auch einigermaßen bei den kurzen plantaren Muskeln der Fall ist.

Weiterhin ist die Plantarfaszie zu berücksichtigen. Ein wichtiger Teil der Längsfaserung spannt sich zwischen der Ferse und überhaupt den hinteren Teilen des Fußskelettes einerseits, den basalen Platten der Metatarsophalangealgelenke und Zehen (Vaginae fibrosae) andererseits aus. Namentlich wenn beim Stand die Plantarbewegung der Zehen verhindert ist, bildet diese Faserung ein nicht unwichtiges Mittel der plantaren Längsverklammerung. Ebenso hält im vorderen Teil der Sohle die Querfaserung der Faszie die Fußwölbung der Quere nach zusammen.

γ) Gewölbebogen und Gewölbesteinschnitt am Fuß.

1. Stand auf dem inneren Fußrand.

Beim Stand auf der Ferse und auf den inneren Zehen (und ähnlich liegen die Verhältnisse beim Stand bloß auf den inneren Zehen) sind die äußeren Strahlen aus der Konstruktion gleichsam ausgeschaltet. Der tragende Brückenbogen wird im wesentlichen durch den Calcaneus, den Talus, das Naviculare, die Keilbeine und die inneren Skelettstrahlen gebildet (innerer Brückenbogen). Bei genügender

rklammerung der vorderen Unterstützungspunkte und des Fersen-
ins durch die Fascia plantaris und durch kurze plantare Muskeln
r inneren Strahlen, welche am Fersenbein entspringen, könnte dieser
ückenbogen bei Belastung des Talus von oben ohne weitere Bindemittel
mlich sicher festgestellt sein. Der Talus selbst repräsentiert das Keil-
ick, seine unteren Gelenkflächen verlaufen im ganzen nach vorn unten
d stellen die hintere Berührungsfläche des Keiles dar; die an das
aviculare stoßende Fläche steigt nach hinten ab und repräsentiert
e vordere Berührungsfläche. Die nach vorn davon gelagerten Fugen
nnen alle mit ihr ungefähr die gleiche Richtung haben; die untere
fache Verklammerung der Endpunkte des Brückenbogens kann aber

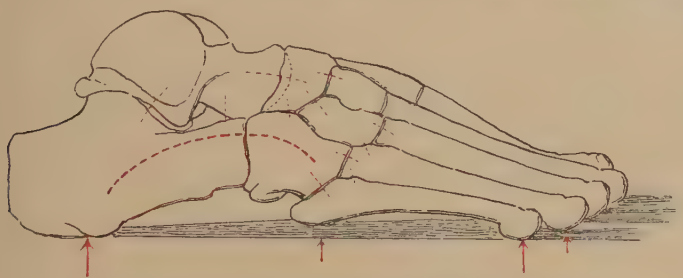


Fig. 116. Gewölbesteinschnitt am Fußskelett.

ilweise ersetzt sein durch zwei Verspannungen, die näher am
cheitel der Wölbung liegen und von denen die eine vom Calcaneus
m Naviculare geht (Lig. calcaneo naviculare plantare), die andere an
d unter dem Sustentaculum tali und unter dem Kuboid vorbei, vom
alcaneus zum Naviculare, zu den Keilbeinen und zum ersten Metatar-
le verläuft (Flexor hallucis longus, Tibialis posticus, Peroneus longus).

Nehmen wir an, daß die vordersten Elemente (innere Metatarsalia) aus der erklammerung mit dem Calcaneus ganz ausgeschaltet sind, so wirkt auf ihre rderen Endpunkte nur der Widerstand des Bodens senkrecht nach oben. Man nnte ihn ersetzen durch gleich große und gleich gerichtete Kräfte, welche von en hinteren Enden der Metatarsalia auf die hinten anstoßenden Elemente nach ben wirken, und durch je ein Kräftepaar in longitudinaler dorsoplantarer Ebene, elches auf das hinten anstoßende Element oben als Druckkraft, unten als Zug-aft senkrecht zur Trennungsfläche wirkt. Die plantaren Bänder des betreffenden elenkes müssen Zugwiderstand leisten, wenn diese Gelenke festgestellt sein sollen. ußerdem muß die Abscherung des vorderen Stückes am hinteren Nachbar nach ben und von vorn verhindert sein. Dazu genügt der Reibungswiderstand um so er, wenn die Trennungsfläche rückwärts absteigt, weil dann die Abscherungs-mponente kleiner ist.

Die Verteilung der vorderen Ansatzpunkte der plantaren Verklammerung s inneren Brückenbogens auf das Naviculare, die Keilbeine, die Metatarsalbasen d Metatarsalköpfchen scheint von keinem besonderen Einfluß auf den Fugen-rlauf zwischen diesen Elementen zu sein. Sie steigen alle mit ziemlich gleicher eigung nach hinten ab. (Die Hauptbedeutung kommt also doch wohl der bis m ersten Metatarsale reichenden Verklammerung zu.)

In Wirklichkeit ist nun beim Stand auf dem inneren Brückenbogen as Kuboid nicht vollkommen aus der beanspruchten Konstruktion

ausgeschaltet. Indem es sich von außen vorn und unten her zwischen den Calcaneus und das dritte Keilbein einkeilt mit der Möglichkeit der translatorischen Verschiebung am dritten Keilbein und indem es durch starke Bänder mit dem Calcaneus und dem Keilbein verbunden ist, hilft es einen federnden, sowohl druck- als zugfesten Nebenbogen vom Calcaneus zum vorderen Schenkel des inneren Brückenbogens bilden, eine Nebenschiene, welche durch Zugwiderstand die Einbiegung des Fußes nach außen und die Torsion, durch Druckwiderstand die Einbiegung nach innen und die Detorsion hemmt, bei direkt dorsoplantarer Längsbeanspruchung des inneren Brückenbogens aber in den plantaren Teilen auf Zug, in den dorsalen Teilen mehr oder weniger auf Druck beansprucht wird.

Calcaneus, Kuboid, III., II. und I. Keilbein mit dem I. Metatarsale bilden zusammen eine merkwürdige, spiralig gekrümmte resp. bajonettartig gebogene Reihe, zu deren Mittellinie die trennenden Fugen überall annähernd quergestellt sind. Dorsalverschiebung und Dorsalablenkung der vorderen Elemente gegenüber ihren hinteren Nachbarn in diesen Fugen führt zur Detorsion, Plantarverschiebung führt zur stärkeren Torsion der subtalaren Fußplatte.

2. Stand auf dem äußeren Fußrand.

Beim Stand auf der Ferse und den äußeren Zehen tritt der äußere Brückenbogen in Funktion. Hier sind die inneren Strahlen und auch das I. und II. Keilbein aus der Konstruktion ausgeschaltet. Der Calcaneus, das Kuboid und die zwei äußeren Metatarsalia bilden für sich allein den Grundteil der Brücke, welcher vorn und hinten unterstützt ist. Der Talus ist aber in diese Brücke nicht einbezogen, sondern ihr aufgesetzt, und zwar vor allem dem Calcaneus vor und hinter dem Canalis tarsi. Eine kleine Komponente der Belastung wirkt vom Taluskopf durch das Naviculare gegen die Innenseite des Kuboides und gegen das III. Keilbein, von letzterem aus aber setzt sich der Belastungsdruck ebenfalls auf das Kuboid, namentlich aber von innen her auf die Basis des IV. und V. Metatarsale fort. Als vordere Unterstützungspunkte haben nicht bloß die Köpfchen der IV. und V. Metatarsale zu gelten, es ist auch die Basis des V. Metatarsale mehr oder weniger an der Unterstützung beteiligt. Der Verteilung der Belastung auf den Calcaneus und auf das Kuboid entspricht es, daß zwischen Calcaneus und Kuboid die Abscherungsbeanspruchung gering ist (Scheitelfuge des Grundteiles der äußeren Brücke), während sie größer ist zwischen dem Kuboid und den anschließenden Metatarsalia, insbesondere wenn die Belastung stark ist und dann wesentlich auch durch das Kuboid nach dem äußeren Fußrand hin wirkt. Das starke äußere Zurückweichen der Fuge vor dem Kuboid hilft allerdings die Abscherungskomponente verkleinern. Es hat im Grundteil des äußeren Brückenbogens das Kuboid einen deutlichen keilförmigen Zuschnitt (Verschmälerung) nach dem lateralen, tieferstehenden Fußrand hin.

Der äußere Brückenbogen besteht also, wenn man den Talus mitchnet, aus zwei übereinandergesetzten Brücken. Der vordere henkel der oberen Brücke geht wesentlich durch das Naviculare. ie Verschiebbarkeit des Innenteiles des Vordertarsus neben dem Außenil nach vorn ermöglicht, daß im Grundteil des Gewölbes plantar durch e Bänder eine Zugspannung und dorsal eine Druckspannung auftreten un und daß dabei doch auch der innen übergelagerte Nebenbogen auf ruckspannung in Anspruch genommen wird.

Die plantare Zugspannung (Verklammerung) ist auch hier nur zum il durch die Plantarfaszie und die von der Ferse zu den äußeren hen hinziehenden plantaren Muskeln geleistet. Zur Ergänzung dienen er aber nicht lange Muskeln, sondern die plantare Bandmasse wischen Calcaneus und Kuboid und zwischen dem Kuboid und den asen der äußeren Metatarsalia.

3. Stand auf ganzer Vordersohle. Zehenstand.

Der Stand auf dem inneren und der Stand auf dem äußeren Fußrand nd zwei extreme Fälle. Zwischen ihnen liegt der Stand auf ganzer Vorrsohle (auf der ganzen Breite des gemeinsamen Zehenballens), wobei ich wieder bald mehr die äußeren, bald mehr die inneren Zehen und etatarsalköpfchen oder alle mehr gleichmäßig den Widerstand des odens aufnehmen können. Die Inanspruchnahme der Fußkonstruktion t hier ein Mittelding und eine Mischung zwischen derjenigen beim Stand if dem inneren und auf dem äußeren Fußrand. Gerade hier ist es von ichtigkeit, sich den Talus und Calcaneus als miteinander versteift zu enken (s. u.). Sie bilden den hinteren Teil der gewölbten Brücke, welche urch die ganze Breite des Vordertarsus in die Strahlen fortgesetzt ird. Die zu diesem Verlauf quergestellten Fugen vor den Gelenkächen des Chopart zeigen so gut wie keine Konvergenz nach unten, ondern verlaufen wie jene mit ziemlich derselben Neigung plantarwärts nd ein wenig rückwärts.

4. Rückblick.

Von einem wahren Gewölbesteinschnitt mit abwärts konvergierenden Trennungsspalten (Fugen) ist also am Fuß nicht allzuviel u bemerken. Am ehesten noch ist der Talus einem oberen, keilförmigen Gewölbeschlußstein zu vergleichen, der denjenigen Teil der Skelettplatte, elche beim Stand auf den inneren Zehen hauptsächlich die Last trägt, ollständig durchsetzt und in sie recht eigentlich eingeschaltet ist. n diesem Teil spielt eine gemeinsame und eine partielle durch Museln bewirkte untere Verklammerung eine wichtige Rolle; dementprechend steigt die hinter dem Talus gelegene Trennungsfläche schräg ach vorn ab und sind die vor dem Taluskopf gelegenen Querfugen rückärts absteigend und unter sich annähernd parallel.

Es ist aber neben diesem inneren Hauptbogen ein vom Processus nterior calcanei und vom Kuboid gebildeter Nebenbogen vorhanden,

der selbst beim Stand auf den inneren Zehen (und der Ferse) mitbenutzt wird, beim Stand auf dem äußeren Fußrand aber die ganze Last trägt. An ihm ist der Verlauf der Berührungsflächen von einem wesentlich anderen Prinzip beherrscht.

Eine Konvergenz der Fugen, durch welche hindurch der Belastungsdruck auf die Unterstützungspunkte fortgepflanzt wird, läßt sich gut in demjenigen Teil der Fußkonstruktion erkennen, der beim Stand auf den äußeren Zehen (und der Ferse) benutzt wird, und zwar zeigt sich hier eine Konvergenz nach dem äußeren Fußrand hin (Verlauf der Fuge hinter dem Chopart zwischen Taluskörper und Calcaneus auswärts vorwärts, der Fugen vor dem Chopart zwischen dem Naviculare einer- und dem Kuboid und III. Keilbein andererseits und der Fuge vor dem Kuboid auswärts rückwärts). In diesem Abschnitt bildet aber der Talus nur einen Randstein und durchsetzt nicht die ganze Breite und noch viel weniger die ganze Dicke des Scheitels der Konstruktion.

Der Begriff „Fußgewölbe" umfaßt also tatsächlich nicht viel mehr als die Vorstellung von der Wölbung des Fußes. Wir kommen in der richtigen Würdigung der Konstruktion des Fußskelettes weiter, wenn wir dasselbe als eine kompliziert gebaute, in der Mitte am Talus, von oben (doch durchaus nicht immer genau vertikal) belastete an den Enden durch den Boden unterstützte oder durch Muskelzug hochgehaltene Brücke oder als einen gegliederten zweiarmigen Hebel betrachten. Vorn läuft die Brücke in fünf Schenkel aus, von denen bald nur die inneren oder der innerste, bald nur die äußern, bald aber auch alle zugleich benutzt werden. Im Tarsus zeigt sich eine Sonderung in zwei Brückenbalken, von denen der innere höher gelegene die Druckeinwirkung (Belastung) seitens des Unterschenkels aufnimmt. Beim Stand auf den inneren Zehen übernimmt der äußere tarsale Balken die Rolle einer federnden Nebenschiene („Unterzug"); beim Stand auf den äußeren Zehen und beim Druck gegen den äußeren Fußrand hin bildet dieser Unterzug den Scheitel des Hauptbogens, dem der innere tarsale Brückenbalken als Nebenbogen (Duplikatur) oben aufgesetzt ist.

Dabei ist noch folgendes zu bemerken. Der Talus ist trotz seiner Keilgestalt und seines Charakters als Schlußstein resp. Randstein durchaus nicht ohne zugfeste Bindung in die Konstruktion eingefügt. Besonders den Bändern des Sinus und Canalis tarsi kommt für die festere Vereinigung mit dem Calcaneus größere Bedeutung zu. So erscheint der Hintertarsus gegenüber Kräften, welche in Ebenen der Talo-Calcaneusachse wirken, als ein einheitlicher starrer Komplex, was besonders bei der Beurteilung der von ihm zum Vordertarsus und umgekehrt wirkenden Kräfte zu berücksichtigen ist.

Bei unserer ganzen im Abschnitt D durchgeführten Analyse der Inanspruchnahme der Junkturen des Fußes sind wir von den Verhältnissen des aufgesetzten Fußes und von der Auffassung derselben als einer gegliederten Brücke resp. eines Doppelhebels ausgegangen. Es sei nochmals hervorgehoben, was viel zu sehr übersehen wird, daß es keinen wesentlichen Unterschied ausmacht, ob die Enden der Brücke durch Widerstände des Bodens oder durch Muskelzug hochgehalten

rden, und daß die Art der Inanspruchnahme nicht wesentlich ver-ieden ist beim Stand auf ganzer Sohle und bei abgehobener Ferse.

Hochstand auf den Zehen. Selbst der Hochstand auf den hen unterscheidet sich prinzipiell hinsichtlich der Inanspruchnahme s Fußskelettes nicht allzusehr von den übrigen Fällen des Zehenstandes t weniger hoch gehobener Ferse.

Fig. 117. Hochzehenstand nach H. v. Meyer.

H. v. Meyer (Statik und Mechanik des menschlichen Fußes, Jena 1886) terscheidet neben dem Stand auf der Sohle und auf der Ferse noch den Groß-hen- und Kleinzehenstand, versteht aber unter den beiden letzteren Stand-en den Stand bei ganz extremer Aufrichtung des Fußes. Die Schwerlinie geht bei nach seiner Meinung durch den hinteren Teil des T lus und durch die zwei eren Zehen resp. durch die Köpfchen der äußeren Metatarsalia. Ein Stand i so stark aufgerichtetem Fuß ist nun aber tatsächlich gar nicht möglich, auch hl nicht bei Ballettänzerinnen. Das Sprungbein bleibt vielmehr auch bei der chsten Erhebung auf die Zehen noch deutlich hinter den unterstützten Meta-rsophalangealgelenken. Die von H. v. Meyer angenommene ungewöhnliche anspruchnahme der vor dem Talus gelegenen Fußplatte auf Ausbiegung nach r Dorsalseite hin kann aber eintreten, wenn der in der Ferse viel weniger ge-bene, mit den Zehen aufgesetzte Fuß gegen den Boden oder ein anderes Hemmnis rk nach vorn drängt. Der vordere Widerstand wirkt dann streckend am Fuß-

gelenk. Die Beugemuskeln (oder vorderen Kapselbänder des Fußgelenkes) müssen angespannt sein, um die Fußstreckung zu verhindern. Es wirken dann die Fußbeuger oder die genannten Bänder als mittlere Kraft vor dem Talus nach der Dorsalseite des Fußes, während an der Talusrolle die Einwirkung vom Oberstück her plantarwärts gerichtet ist. Hier handelt es sich also um eine der gewöhnlichen entgegengesetzte Inanspruchnahme, welche zur stärkeren dorsalen Längswölbung des Spannes führt. Ähnliche Verhältnisse liegen bei der Ausbildung des Klumpfußes vor.

5. Beziehung des Fugenverlaufes zur Bewegung.

Die Prüfung des Verlaufes der Knochenfugen resp. Trennungsflächen zwischen den Elementen des Fußskelettes hat ergeben, daß derselbe allerdings an manchen Stellen zu den Linien der häufigsten und stärksten Druckübertragung annähernd senkrecht steht, so daß unter Mithilfe der plantaren Bänder und der Ligg. interossea, der Muskeln, der Faszien sowie des Reibungswiderstandes an den Gelenkflächen die Festigkeit des Fußgewölbes gesichert ist. Es ist aber nicht möglich, den ganzen Verlauf der Trennungsflächen einzig aus diesem Prinzip zu erklären. Einmal muß eine bestimmte Anordnung und Verteilung der primären Anlagen der Skelettstücke als früh gegeben angenommen werden; andererseits steht die ganze Gestaltung der Trennungsflächen und der größere oder geringere Grad der geweblichen Trennung vor allem unter dem Einfluß der bewegenden Kräfte. Auch hierbei ist natürlich nichts anderes zu erwarten, als daß die Linien des Druckwiderstandes und der Druckübertragung annähernd senkrecht stehen zu den Trennungsebenen der Bewegungsgliederung. Man hat nur zu beachten, daß im Interesse der Druckfestigkeit die Zonen, in denen Verschiebung stattfindet, mehr oder weniger eingeengt und in regelmäßige Krümmungen gelegt sind, zugunsten breiterer Berührung der Skelettstücke. Wo aber die bloße Knochenhemmung resp. das Aufeinanderstoßen der Skelettstücke zur Feststellung des Skelettes in mittleren oder extremen Lagen nicht genügt, können oder müssen durch die Muskeln oder durch Verstärkung des Bandapparates die fehlenden Komponenten geliefert werden.

Erst wenn man diesen verschiedenen Momenten auf den verschiedenen Stufen der Entwicklung Rechnung trägt, wird man dazu kommen, die Entwicklungsmechanik des Fußskelettes besser zu verstehen. Die Gliederung z. B. zwischen dem Talus und der subtalaren Fußplatte ist kaum verständlich, wenn man den Talus bloß als belasteten Schlußstein des Fußgewölbes betrachtet; eher wird dies gelingen, wenn man untersucht, wie er bei den Bewegungen zwischen dem Fuß und dem Unterschenkel, indem er von letzterem festgehalten ist, allmählich im Rand der Fußplatte gelockert wird, und wie sich Hand in Hand damit seine Gestalt und seine Verbindungen bestimmen und differenzieren.

Auch die keilförmige Gestalt der Keilbeine, um noch ein Beispiel zu nennen, hat mit Gewölbesteinschnitt wenig oder nichts zu tun. Als Bestandteile des subtalaren inneren Brückenbogens braucht eine solche Gestalt nicht vorhanden zu sein, Der Vordertarsus wird ja gar nicht als queres Gewölbe belastet und unterstützt; selbst wenn wir mit der Mitte des Fußes auf einer Leitersprosse stehen, fehlt in der Mitte, an

n Keilbeinen die Belastung von oben. Wohl aber leuchtet ein, ß der keilförmige Zuschnitt mit der Dorsoplantarbewegung der Ele-nte gegeneinander in Zusammenhang stehen kann. Berücksichtigt n die ursprünglich flachere Gestalt des Fußskelettes, so steht die nvergenz der longitudinalen Trennungsspalten nach der Planta in enbarem Konnex zur Ausbildung der Plantarrinne und zu der be-genden Einwirkung der plantaren Muskeln und Sehnen; auch die nwirkung der von der Tibialissehne und vom Naviculare her zu den ilbeinen ausstrahlenden Sehnen- und Bandfasern kann in Betracht mmen. Also nicht Gewölbesteinschnitt, sondern Bewegungs-iederung.

Die Lehre von Nicoladoni und Hofmann (1903), wonach im Quergewölbe s Vordertarsus das III. Keilbein gleichsam den Schlußstein darstellt, durch die meinsame Wirkung des Tibialis posticus und des Peroneus longus zwischen boid und II. Keilbein plantarwärts gezogen wird und dadurch das Einsinken Querwölbung verhindert, beruht auf völliger Verkennung der Sachlage.

δ) Die Ansichten der Autoren über die Gewölbekonstruktion des Fußes.

Diese Ansichten gehen weit auseinander. Eine kurze Übersicht rüber gibt Bernh. Baisch in den Ergebnissen der Chirurgie und thopädie, III. Bd., 1911 (s. auch Joachimsthal, Artikel Fußdeformi-ten in seinem Handb. d. Chir. u. Orthop. II. Bd. 2. Hälfte). Der Fuß vielfach als ein nach innen offenes Nischengewölbe, Kuppelgewölbe etc. zeichnet worden, wobei man den äußeren Fußrand wesentlich nur it seinem hinteren und vorderen Ende oder, in größerer Ausdehnung, mentlich auch mit dem Höcker des V. Metatarsale an der Unter-ützung beteiligt sein ließ, daneben sollte namentlich das Köpfchen des Metatarsale als vorderer Stützpunkt in Frage kommen.

Lorenz sah im Fußskelett ein Längsgewölbe, das aus zwei Teilen, en beiden Längshälften des Fußes (s. S. 160), zusammengesetzt ist. eide stellen Längsgewölbe dar; das innere ist mit seinem hinteren Ende Taluskörper) dem äußeren (Calcaneus) aufgesetzt. So hat hauptsächlich er äußere Bogen die Körperlast zu tragen.

H. v. Meyer bestritt dem äußeren Bogen die hierzu nötige Festig-eit. Nach ihm geht der hauptsächlich tragende Längsbogen von der erse durch den Calcaneus und Talus, durch den Vordertarsus und das II. Metatarsale zu dem Köpfchen des letzteren. Die zwei inneren und ie zwei äußeren Metatarsalia sind bloße Nebenstützen, die wegge-ommen werden können, ohne daß das Fußgewölbe wesentlich an Trag-ähigkeit einbüßt. Die innere Nebenstütze ist allerdings beim Gehen on größerer Wichtigkeit. Auch nach Hoffa ist der mittlere, v. Meyer-he Bogen der wichtigste.

H. v. Meyers Annahmen schienen eine Bestätigung zu finden in en Untersuchungen von Beely, der beim Lebenden beim Auftreten uf gerade erstarrenden Gips den Hauptdruck unter dem II. und III. Metatarsalköpfchen fand. Hier auch zeige sich die hauptsächlichste

Abnutzung der Schuhsohlen. Zu ähnlichem Ergebnis kam Momburg. Marcinowski und Lazarus sahen im II. Metatarsalköpfchen den hauptsächlichsten vorderen Stützpunkt.

Seitz (1901) hat die Untersuchung von Beely an einem größeren Material nachgeprüft (Druckspuren beim Auftreten auf feuchten Lehm) und hat sie erweitert durch Berücksichtigung der Schwielenbildung und der Druckanämie beim Auftreten (Stand auf einer Glasplatte, Beobachtung der Sohle von unten mit dem Spiegel). Er ist zu abweichenden Resultaten gekommen. In 57% der Fälle war die Stelle unter dem V. und namentlich diejenige unter dem I. Metatarsalköpfchen neben der Ferse am meisten betroffen, in weiteren 4% waren es die Bezirke unter dem I., IV. und V. Metatarsalköpfchen. Wo die mittleren Metatarsalköpfchen fester aufruhten, handelte es sich meist um eine gelockerte Querverbindung der Metatarsalköpfchen (Schädigung durch beengendes Schuhwerk etc.). In $^2/_3$ der Fälle war beim geraden Stand der ganze laterale Fußrand in Berührung mit der Unterlage, die Basis des V. Metatarsale dabei aber dem Boden nur leicht angedrückt.

Mir scheint nach alledem und auf Grund eigener Beobachtung, daß beim aufrechten geraden Stand mit aneinander geschlossenen Fersen, wenn die Pronatoren und Supinatoren nicht besonders angespannt sind, neben der Ferse das I. und das V. Metatarsalköpfchen die Hauptunterstützungspunkte darstellen, daß dabei aber auch die mittleren Metatarsalköpfchen und der äußere Fußrand einigermaßen beteiligt sind. Geht der Fuß in Pronationsstellung über, so muß sich bei gut erhaltener Fußwölbung der äußere Fußrand wenigstens in seiner Mitte von der Unterlage abheben. Belasten wir durch Supination mehr den äußeren Fußrand, so drückt er auch in seinen mittleren Teilen stärker gegen den Boden. Bei abgehobener Ferse und breitem Stand auf der Vordersohle scheint häufiger ein größerer Teil der Last auf den mittleren Metatarsalköpfchen zu ruhen, ebenso bei der geraden Abwicklung des Fußes, während bei der Abwicklung über den inneren oder äußeren Fußrand der Druck am I. resp. am V. Metatarsalköpfchen verstärkt ist.

Natürlich vergrößert sich auch die Inanspruchnahme der Sohlenhaut, wenn die Unterstützungsfläche verkleinert ist, die Last nur auf einem Fuße ruht, der eine Fuß wie beim Gehen die ganze Körperlast trägt und etwa noch ein Streckimpuls hinzukommt. In dieser Hinsicht ist von ganz besonderer Bedeutung beim Gehen und Stehen der Wechsel in der Art der Unterstützung. In ganz typischer Weise wird beim Gehen die Belastung des Standfußes beim Vorgehen des Rumpfes vom äußeren Fußrand allmählich auf den inneren übertragen, wobei gewöhnlich die mittleren Metatarsalia fast vom Anfang bis zum Schluß und namentlich in den mittleren Phasen an der Unterstützung teilnehmen. Der gleiche Wechsel vollzieht sich beim Stand, selbst bei ruhigem, aufrechten Stand, indem durch abwechselnde stärkere Anspannung der Pronatoren und der Supinatoren, sowie der Plantarbeuger der äußeren und inneren Strahlen abwechslungsweise bald die äußeren, bald die inneren Teile der Sohle die hauptsächliche Unterstützung übernehmen. Wir wiederholen, daß beim Stand auf dem äußeren Fußrand nicht bloß das Köpfchen des V. Metatarsale, sondern die ganze Länge desselben bis zur Tuberosität und namentlich die letztere den Gegendruck des Bodens empfängt. Andererseits können auch die Zehen

bst bald innen, bald außen mehr oder weniger unter Entlastung der kwärts liegenden Teile an die Unterlage gedrückt sein.

Aus diesen Beobachtungen und Überlegungen ergibt sich, daß man t nicht an eine bestimmte Form und Stellung des Fußes und eine nzige ganz bestimmte Art der Belastung halten darf, um die Konuktion des Fußes zu verstehen, vielmehr dem Wechsel in diesen Verltnissen Rechnung tragen und zeigen muß, wie die Konstruktion den rschiedenen Ansprüchen gewachsen ist. Man ist dann auch genötigt, s Wechselspiel der auf den Fuß einwirkenden Kräfte in einer mehr seitigen Weise zu analysieren, wie wir solches im vorhergehenden rsucht haben.

F. Anhang. Zur Lehre vom Plattfuß.

a) Vorbemerkungen.

Zu den häufigsten Deformationen des Fußskelettes gehört der attfuß. 2—3 % der stellungspflichtigen Jungmannschaft in Deutschd und Österreich soll nach den Statistiken von Schernings und rdacz' wegen dieses Leidens für den Militärdienst zu Fuß untauglich a. Wenn wir aber hier nur gerade der Anatomie und Entstehungsise des Plattfußes ein besonderes Kapitel widmen, so veranlaßt uns dazu niger die Häufigkeit des Leidens, als vielmehr der enge Zusammenng, der zwischen der Lehre vom Entwicklungsmechanismus des Plattßes und unserer Einsicht in die Konstruktions- und Funktionsverhältse des normalen Fußes besteht.

Von einem Plattfuß im weiteren Sinne des Wortes kann sprochen werden, wenn die normale innere Auskehlung der Fußsohle dem mit Weichteilen bekleideten Fuß, die gewöhnlich beim aufhten Stand auf fester ebener Unterlage vom Boden abgehoben bleibt, rkleinert oder verschwunden ist. Eine solche Verbreiterung resp. plattung der Fußsohle wird besonders deutlich demonstriert durch s **„Plantogramm"**, den nach verschiedenen, Methoden herstellbaren nstlichen Sohlenabdruck. (Bezüglich der Methodik sei auf Arch. f. thopäd. Chirurgie IV. 129 verwiesen.)

Ein bewährtes Verfahren zur Herstellung der Fußabdrücke besteht darin, ß man die Fußsohle leicht und gleichmäßig mit einer Lösung von

Tinctura ferri chlorati . .	50,0
Alkohol, 80 %ig	45,0
Glyzerin	5,0

streicht. Darauf läßt man die Person auf ein Stück weißes Papier oder Karton t glatter Oberfläche treten. Mit Vorteil wird zugleich eine Projektion des Fußndes auf die Papierunterlage hergestellt. Nachdem der scharf begrenzte Abuck von hellgelber Farbe getrocknet ist, fixiert man ihn mit 5 (—10) %iger oholischer Gerbsäurelösung, wobei sich die Farbe des Abklatsches in blauschwarz wandelt (Freiburg 1911).

Ein normaler Fußabdruck zeigt:

1. vordere kleine getrennte Felder, welche den einzelnen Zehenllen entsprechen,

2. ein einheitliches Feld unmittelbar nach hinten davon, welches dem gemeinsamen Zehenballen entspricht (vorderes Sohlenfeld),

3. den Abdruck der Ferse (hinteres Sohlenfeld, Fersenfeld),

4. ein mehr oder weniger verschmälertes Verbindungsfeld zwischen den lateralen Teilen des vorderen und hinteren Sohlenfeldes.

Entsprechend der Stelle, wo die Unterseite des Fußes hohlsteht, zeigt das zusammenhängende Berührungsfeld der Sohle einen Ausschnitt (s. Fig. 118).

Fig. 118. Plantogramme nach König (Volkmann). *A* bei annähernd normalem Fuß, *B* bei hochgradigem Plattfuß.

Schon unter normalen Verhältnissen, bei vollständig gut entwickelter Wölbung des Fußskelettes, zeigen sich kleinere Unterschiede hinsichtlich der Größe des Sohlenausschnittes und der Breite des Verbindungsstreifens je nach der Belastung des Fußes, und größere, je nach der größeren oder geringeren Mächtigkeit der plantaren Weichteilpolsterung.

Der Fuß des Negers ist außerordentlich fleischig. Seine Sohlenmuskulatur ist stark entwickelt, sehr wahrscheinlich infolge des Barfußgehens. Darauf beruht wohl die weit verbreitete Annahme, daß der Plattfuß eine Rasseneigentümlichkeit des Negers sei. Schon Ranke (Der Mensch) hat sich dagegen ausgesprochen. Herz (Ergebnisse der Orthopädie III., 1903) zeigte, daß meist sogar ein gut ausgesprochener innerer Ausschnitt am Fußabdruck vorhanden ist. Gould bewies durch Messungen die gute und normale Wölbung des Fußskelettes.

Auch das Plattfußbild des Plantogramms vom Fuß des Neugeborenen ist nicht das Zeichen eines abgeflachten Fußskelettes, sondern ist verursacht durch

hlichere Entwicklung der plantaren Weichteile, insbesondere des Fettpolsters hierüber namentlich Spitzy, 1903).

Als Plattfüße im engeren Sinne des Wortes sollten also nur diejenigen ttfüße bezeichnet werden, bei welchen auch das Skelett eine Abflachung der bung zeigt. Es würde zweckmäßig sein, alle Weichteilplattfüße durch besondere Bezeichnung, z. B. als Polsterfüße von den eigentlichen, den elettplattfüßen zu trennen.

Immerhin kann in der Regel die Verkleinerung des inneren Ausnittes des Abklatschfeldes als ein Zeichen dafür genommen werden, Stellung und Form des Fußskelettes gegenüber der Norm verändert l, und daß insbesondere die Wölbung des Fußskelettes beim Stand ganzer Sohle gegenüber der Norm abgeflacht ist.

Der Skelettplattfuß, der Plattfuß im engeren Sinn, mit n wir uns im folgenden allein zu beschäftigen haben, zeigt regelßig eine minder oder mehr ausgesprochene Valgität der Sprungenkgegend. Wie beim Genu valgum bei senkrecht gestelltem Oberenkel der Unterschenkel nach innen geneigt ist, so hier bei senkrecht hendem Unterschenkel der direkt unter den Knöcheln resp. dem unggelenk gelegene Teil des Fußes. Daher die genauere Bezeichng des Plattfußes als Pes plano-valgus oder valgo-planus. Und r handelt es sich dabei vor allem um eine Umlegung des Calcaneus genüber dem Talus nach innen infolge abnorm starker Pronation selben gegenüber dem Talus im unteren Sprunggelenk. Dies ist rst von H. v. Meyer deutlich erkannt worden. Der Talus steht ürlich mit seiner Rolle in der Gabel des vertikal gestellten Unterenkels horizontal; seine Längsachse ist aber mehr quer zum Fuß tellt. Der Winkel, den die Achse der Talusrolle in der Norm im rechten Stand mit der Längsachse des Calcaneus hinten außen det, ist vergrößert. Beide Malleolen sind im allgemeinen über dem ntogramm (Fußunterstützungspolygon) gegenüber der Norm nach nen verschoben.

Man hat zahlreiche Methoden angewendet und empfohlen, um durch ssung am Lebenden den Grad der pathologischen Pronation des Calneus genauer zu bestimmen. Keine derselben befriedigt vollkommen.

Die Pronation zwischen Calcaneus und Talus würde theoretisch am besten urteilt werden können nach den Verschiebungen, die sich in einer bestimmten, schrägen Talo-Calcaneus-Achse senkrecht stehenden Ebene, zwischen exaxialen nkten des Calcaneus einerseits, des Talus oder Unterschenkels andererseits tend machen, also z. B. aus der Verengerung des Sinus tarsi, der Annäherung es bestimmten Punktes der Außenseite oder des Außenrandes des Processus terior calcanei an die vordere untere Peripherie des Malleolus externus etc.

Mit Rücksicht auf den Umstand, daß bei der Pronation des Calcaneus gegener dem Talus Aufrichtung, Horizontaldrehung und Längsrotation in ganz bemmter Weise miteinander kombiniert sind, kann der Betrag der Pronation, n. der resultierenden Bewegung um die schräge Achse (nach unserer Bezeichnungsise) auch aus einer der drei Teilbewegungen erschlossen werden. Von den drei ildrehungen wird die Längsrotation (um die Längslinie des Calcaneus oder eine parallele Achse) einzig vom Calcaneus übernommen; sie bestimmt den Grad Valgität. Statt der Horizontaldrehung des Calcaneus kommt beim Stand ganzer Sohle die entgegengesetzte Horizontaldrehung des Talus und Unterenkels zur Ausführung. Statt der Aufrichtung des Calcaneus senkt sich der lus vorn, ja es muß diese Senkung um so viel größer sein, als der Calcaneus sich gen der Abflachung des Fußgewölbes senkt. Die **vertikale Drehung** kann nun um irgendwie genau gemessen werden.

Will man die **Horizontaldrehung** zur Beurteilung der Pronation benutzen, so muß man korrekterweise die Änderung des Winkels zwischen zwei horizontalen Durchmessern des Talus oder Unterschenkels und des Calcaneus (in ihrer Projektion auf die gleiche Horizontalebene) messen. Der am besten geeignete Durchmesser ist auf der einen Seite die horizontale resp. zur Tibia senkrecht stehende Verbindungslinie zwischen der Mitte des inneren und dem am meisten vorragenden, etwas hinter der Mitte gelegenen Punkte des äußeren Malleolus. Auf der anderen Seite könnte vielleicht die Gerade gewählt werden, welche die Mitte der Ferse (möglichst nahe dem Boden genommen) und den lateralen Rand des Processus anterior calcanei verbindet; die Änderung ihrer Neigung kommt in der Projektion nicht merkbar in Betracht. Jedenfalls sollte die zweite Linie eine Linie im Calcaneus sein.

In der Tat ist als Horizontale des „Oberstückes" von Lovett, Cotton und Lovett und von Nieny die gerade Verbindungslinie der Malleolenmitten oder eine nahezu damit identische Linie genommen worden, von Hoffa das Mittelstück der kürzesten bogenförmigen Verbindungslinie der Malleolenmitten, die sich quer über den Fußrücken ziehen läßt. Als zweite Linie wählte Hoffa die gerade Verbindungslinie der Mitte seines Malleolarbogens mit der Basis der großen Zehe und beobachtete den Winkel, den diese Gerade mit dem Mittelstück des Malleolarbogens bildet. Lovett untersuchte das Verhältnis der beiden Abstände zwischen bestimmten Punkten des inneren und äußeren Malleolus von dem Sattel zwischen dritter und vierter Zehe; das läuft auf das gleiche hinaus, als ob man den Winkel zwischen der Verbindungsgeraden der beiden Malleolenpunkte und einer von ihrer Mitte zum betreffenden Interdigitalsattel verlaufenden Geraden bestimmen würde. Nieny wählte als Linie des Unterstückes die Gerade, welche die Mitte der Verbindungslinie der Malleolenmitten mit dem Sattel zwischen der zweiten und dritten Zehe verbindet. Es ist klar, daß nach all diesen Methoden die horizontale Drehungskomponente der Pronation zwischen Talus und Calcaneus nicht rein ermittelt werden kann, indem der subtalare Fußabschnitt in seiner Form veränderlich ist. So ist beim Plattfuß häufig der vor dem Chopart und Calcaneus gelegene Fußabschnitt gegenüber dem letzteren nach außen abgeknickt. In diesem Fall ist die Vergrößerung des inneren Winkels zwischen der gewählten Linie des Fußes und der Verbindunglsinie der Malleolen größer als der horizontalen Drehungskomponente der pathologischen Pronation des Calcaneus gegenüber dem Talus entspricht. Aber auch wenn man nach Lovett und Cotton den Winkel zwischen der Projektion der horizontalen Verbindungslinie zweier Malleolenpunkte und einem dem inneren Fußrand angelegten Lineal berücksichtigt, erhält man keinen sicheren Aufschluß über die letztgenannte Drehungskomponente, aus dem gleichen Grund.

Nieny mißt mit seinem recht brauchbaren Instrument auch noch den Winkel zwischen der Malleolenlinie und einer Geraden, welche die Mitte der Malleolenlinie mit der Mitte des Unterrandes der Ferse verbindet (ihren Projektionen auf die Horizontalebene). Die Projektion der letztgenannten Gerade entspricht besser der Längsrichtung des Calcaneus; doch kommt in ihrer Richtungsänderung nicht bloß die Horizontaldrehung zwischen Talus und Calcaneus, sondern auch die Längsrotation des letzteren zum Ausdruck.

Insofern als sich die **Längsrotation** des **Calcaneus** am Lebenden bestimmen läßt, kann auch aus ihr allein auf die Pronation zwischen Talus und Calcaneus geschlossen werden. Leider gibt die Schrägstellung der Ferse kein sicheres Maß für den Grad der Umlegung des Calcaneus nach innen, indem durch den Zug der Achillessehne die hintere Peripherie der Ferse mehr aufrecht erhalten bleibt. Dem Ziel, die Einwärtsneigung oder Valgität des Calcaneus direkt zu bestimmen, kommt am nächsten das Verfahren von Hübscher. Verbindet man die Mitte der Verbindungslinie der Knöchelmitten einerseits mit der Mitte der Kniekehle, andererseits mit der Mitte der Ferse, so erhält man zwei Gerade, die beim normalen Fuß bei aufrechtem Stand, bei der Ansicht von hinten (genauer gesagt in der Projektion auf die durch die Malleolenmitten gehende Längsebene des Unterschenkels) ohne Abknickung ineinander fortgesetzt sein sollen. Je nach dem Grade der pathologischen Valgität aber weicht die untere Linie gegenüber der oberen mehr oder weniger nach außen ab. Den Fersenpunkt müßte man möglichst tief wählen. Aber selbst dann ist man nicht sicher, stets Punkte gleicher Lage mit Bezug auf die

iptplatte des Calcaneus zu treffen, wegen der großen und frühzeitigen Form-
nderungen, welche gerade die Stützfläche des Fersenbeins erfährt.

Eine weitere neuerdings vielfach angewandte Methode zur Bestimmung Valgität des Fußes besteht in der Projektion der „Malleolenmitten" äie Bodenfläche und Beobachtung der Lage der Projektionspunkte Fußkontur. Beim Pes valgus erscheinen diese Punkte gegenüber der m im allgemeinen nach innen verschoben. Diese Methode verliert an Wert, n man die Lageveränderung auf irgend eine Linie bezieht, welche von der se zu den Zehen geht, weil dann die Formveränderungen der subtalaren platte mit im Spiel sind; sie gibt besseren Aufschluß über die Valgität des aneus, wenn man nur den hinteren Teil der Fußkontur und namentlich den eren Fußrand hinter dem Chopart berücksichtigt.

Bezüglich der Messung beim Pes valgus und Pes plano-valgus sei zum Schluß zwei Berner Inauguraldissertationen von R. Looser und Ramser verwiesen.

Nicht jeder Pes valgus mit einwärts umgelegtem (abnorm pro-tem) Fersenbein ist notwendigerweise auch ein Pes planus. Wir den im folgenden untersuchen, welche Veränderungen im subtalaren Bteil Platz greifen müssen, damit die charakteristische Form des Pes no-valgus entsteht und auf welche Weise die Fußabplattung bei värts umgelegtem Calcaneus verhindert sein kann.

Die Unterscheidung zwischen einem reinen Pes valgus, ohne lachung des Fußgewölbes (Knickfuß, Hoffa) und dem richtigen lettplattfuß (Pes plano-valgus) erscheint demnach gerechtfertigt, h wenn es sich bestätigen sollte, daß jeder Pes plano-valgus aus m Pes valgus hervorgeht, was kaum völlig zutrifft. Einige Kliniker len aber auch noch streng unterschieden wissen den reinen Pes nus („platter Fuß") mit Abflachung der Skelettwölbung, aber ohne gität. Diese Fußform ist jedenfalls selten. Weder der Negerfuß h der Fuß der Neugeborenen gehören als typisch hierher (s. oben). ch geht wohl Spitzy zu weit, wenn er das Vorkommen des „platten ßes" ganz leugnet. Wir werden auf diese Frage am Schluß des Ka-els zurückkommen.

Weitaus in der Mehrzahl der Fälle entwickelt sich der Plattfuß t nach der Geburt bei ursprünglich normal gebildeten Füßen, infolge es Mißverhältnisses zwischen den mechanischen Ansprüchen, welche das Fußskelett (und die Fußmuskulatur) gestellt werden und der derstands- und Leistungsfähigkeit der Anlage (erworbener, stati-her Plattfuß).

Man spricht zwar auch von einem kongenitalen Plattfuß, der on bei der Geburt vorhanden ist und nicht allzu selten (unter 300 ßen 5mal, Küstner) vorkommt. Doch bestehen hier Verhältnisse, che denjenigen des später erworbenen Plattfußes nicht vollkommen ichzusetzen sind. Es handelt sich in der Regel um Fälle, in welchen Füße im Uterus durch die Eihäute in stark dorsalflektierter und nierter Stellung an den Unterschenkel angepreßt waren. Das Ex-rsionsgebiet ist nach der Pronation verschoben. Die Muskeln sind veränderten Stellung und Exkursion angepaßt oder auch zum Teil chädigt. Häufig sind Deformitäten auch an anderen Körperteilen chweisbar.

Lassen wir diese Fälle, sowie diejenigen eines traumatischen oder durch primäre Muskellähmung herbeigeführten Plattfußes beiseite und beschränken wir uns auf die genaue Untersuchung des nach der Geburt entstandenen, erworbenen Plattfußes. 88,9 Fälle von 100 Plattfußfällen gehören hierher (Hoffa).

Drei verschiedene Altersperioden erweisen sich als besonders gefährlich für die „Erwerbung" eines Plattfußes: 1. Die Zeit, in welcher die Kinder stehen und gehen lernen, und die anschließende Jugendzeit bis zum 6. und 7. Lebensjahr; 2. die Zeit vom 16. bis zum 20. Lebensjahr; 3. die Zeit des herannahenden Alters.

Die Lehre vom Plattfuß und speziell vom „erworbenen, statischen Plattfuß" hat in den Lehrbüchern der Chirurgie und Orthopädie ausführliche Darstellungen erfahren. Wir verweisen namentlich auf das betreffende Kapitel in Königs Lehrbuch der speziellen Chirurgie, auf den Artikel „Fußdeformitäten" von G. Joachimsthal in seinem Handbuch der orthopädischen Chirurgie, II. Bd., 2. Hälfte (1905—1907) und auf die Behandlung des Themas durch B. Baisch in den Ergebnissen der Chirurgie und Orthopädie, III. Bd. 1911. Die beiden letztgenannten Autoren geben auch lange Verzeichnisse der überreichen Spezialliteratur. Wir können uns unter Verweis auf diese Darstellungen im folgenden auf die Erörterung der anatomischen und mechanischen Verhältnisse bei der Ausbildung des Plattfußes beschränken und auch auf eine vollständige historisch-kritische Besprechung der Lehren vom Entwicklungsmechanismus des Plattfußes verzichten.

β) Entwicklungsgeschichte des statischen Plattfußes.

1. Der Fuß beim Neugeborenen und bis zum Erlernen des Stehens und Gehens.

Die Meinung ist weitverbreitet, daß die Füße der Neugeborenen sich in ausgesprochener Supinationsstellung befinden, so daß die Fußsohlen nach innen sehen und leicht „wie die Hände beim Beten" aneinandergelegt werden können (Hüter). Es sei dies, meinte Hüter, die Folge der Niederhaltung der Füße durch die umspannenden Eihäute im Uterus. Die Exkursion des „Talo-Tarsalgelenkes" sei nach der Seite der Supination verschoben. Nach der Geburt falle dieser Einfluß weg. Die Pronatoren können erst jetzt nach Hüter ihre Wirkung entfalten. Insbesondere durch das Stehen und Gehen werden die Füße in Pronationsstellung gedrängt. Der Kopf des Talus rückt im inneren Fußrand nach innen. Der Taluskörper gleitet nach außen vorn gegen den Processus anterior calcanei hinab und erniedrigt ihn, während er vom Sustentaculum tali wegrückt, das sich infolge davon mächtiger entwickeln kann (Verschiebung des Exkursionsgebietes nach der Seite der Pronation; entsprechende Änderung an den Supinatoren und Pronatoren). Es lag nahe, anzunehmen, daß sich auch die charakteristische Torsion des Fußes wesentlich erst nach der Geburt und mit den beginnenden Steh- und Gehversuchen ausbildet. Küstner fand nun wirklich an 300 Füßen von Neugeborenen in 80 % der Fälle eine überwiegende Supinationsstellung und im übrigen alle Übergänge von stärkster Supination bis zu ausgesprochener Pronation. Er hebt aber hervor, daß das

gewölbe im allgemeinen gut ausgebildet, das Naviculare 12,5 mm
r die Sohlenfläche erhoben sei. In der Tat ist zu Ende der Schwanger-
ıft die Sprungbeingegend häufiger, offenbar durch die Spannung
Eihäute, gegen den Leib, gegen den Oberschenkel der anderen Seite
r bei mehr oder weniger gekreuzten Unterschenkeln gegen das Gesäß
lergedrückt. Dabei können aber die Fußenden noch frei sein. In
en Fällen kann die Torsion des Vorderfußes ganz gut ausgebildet
. 15 der 300 Füße waren Plattfüße.

Daneben gibt es Fälle, in denen der Fuß bis zur Spitze hin supiniert und mit Plantarseite der Krümmung der Unterlage angeschlossen ist. Besteht eine ıe Stellung während längerer Zeit zwangsmäßig im Uterus, so kann sie wohl einer Atrophie der Dorsalflexoren und Pronatoren verbunden sein, während Plantarbeuger und Supinatoren sowie die kurzen Muskeln der Fußsohle im ganzen in ihrer Faserlänge verkürzt sind. Auch das Skelett wird sich der Zwangsanpassen. Es kann dann wohl bei Beginn der Steh- und Gehversuche der Fuß h, mit der Dorsalseite der Zehen und des Außenrandes nach unten aufgesetzt ten und wird es zur Ausbildung der höheren Grade des Klumpfußes kommen s equino-varus resp. Pes cavo-varus). Die genannten schon im Uterus benen Bedingungen sind sozusagen die einzige Veranlassung dieser Deformität.

In der Regel, wie gesagt, ist die Supinationsstellung keine voll-
dige; der Vorderfuß mindestens ist frei und es kommt nicht zur
ophie der Pronatoren. Der Vorderfuß zeigt seine normale Torsion.
Wirksamkeit der Fußheber und Pronatoren kann sich nach der
urt ungehindert entfalten, wobei dann zunächst immer noch Pronation
chen Talus und Calcaneus hauptsächlich kombiniert ist mit Pro-
on in den vorderen Gelenken. Es kann also die Exzentergestalt
Talus bei dem wechselnden Spiel zwischen den Supinatoren und
natoren zur vollen Ausbildung gelangen resp. sich erhalten bis zu
Zeit, wo die ersten Steh- und Gehversuche beginnen. Jetzt muß
Festigkeit der Exzentervorrichtung zur Hemmung weitergehender
nation zwischen Calcaneus und Talus ihre erste Probe bestehen.
Kind tritt, wenn es zu stehen anfängt, zunächst mit den Zehen
dem Außenrand des Fußes auf, aber mit abwärts gewendeter Plantar-
e, so daß im unteren Sprunggelenk und auch in weiter vorn gelegenen
enken Pronation zustande kommt und der innere Fußrand gegenüber
ı äußeren tiefer einsinkt, bis schließlich vorn auch die inneren Zehen
Metatarsaliaköpfchen gegen den Boden drängen und einen Teil
Widerstandes aufnehmen. Mit der Pronation des Calcaneus gegenüber
ı Talus kombiniert sich nun nicht mehr ein Einfluß zur Pronation
Vorderfußes im Chopart, sondern eher ein Einfluß zur Supination.
nit sind im wesentlichen dieselben Verhältnisse wie beim Erwachsenen
eben, indem ein nach innen offenes Fußgewölbe gebildet, dessen
tergehende Abflachung aber bei erhaltenem Talusexzenter ver-
dert ist.

2. Der kindliche Plattfuß.

Unter Umständen bildet sich nun schon beim Kind ein Plattfuß
. Dies fällt allerdings durchaus nicht immer mit den ersten Geh- und
hversuchen zusammen; es ist vielmehr die ganze Zeit von jetzt an

bis zum 6. und 7. Lebensjahr eine Prädilektionszeit für die Entstehung des kindlichen Plattfußes. Manche sind geneigt, als Hauptursache dafür die besondere Weichheit und Nachgiebigkeit des Skelettes anzunehmen, die so häufig auf dieser Entwicklungsstufe durch rachitische Veränderungen im Knochen, speziell an den Ossifikationsgrenzen bedingt ist. Hiefür spricht, daß gerade nach dieser Zeit die genannte krankhafte Diathese zu verschwinden pflegt und das Skelett sich konsolidiert. Doch liegt wohl die Annahme nicht fern, daß auch beim Fehlen rachitischer Störungen unter Umständen ein Plattfuß bei Kindern entstehen kann, wenn nur überhaupt ein Mißverhältnis zwischen der allgemeinen Widerstandsfähigkeit und Leistungsfähigkeit des Skeletts und Muskeln einerseits, der mechanischen Inanspruchnahme andererseits vorhanden ist. Die gleichen Momente, welche die Ausbildung einer Skoliose in diesem Lebensalter begünstigen (allgemeine Muskelschwäche usw.) bilden, auch eine Prädisposition für die Entstehung eines Plattfußes. Das häufige Zusammenfallen von Plattfuß und Tuberkulose kann aus dem gleichen Grunde nicht wundernehmen.

Nach Hübscher, Spitzy u. a. geht der Ausbildung des Plattfußes (Pes plano-valgus) immer ein Stadium voraus, in welchem bloß die Valgität ausgesprochen, das Fußgewölbe aber noch nicht eingesunken ist, oder höchstens vorübergehend, bei stärkerer Belastung des Fußes, einsinkt. Daß dies immer so sein muß, möchten wir bezweifeln. Für den kindlichen Plattfuß aber möchte es zutreffen, daß er in der Regel aus einem beweglichen Pes valgus, der vielleicht schon während längerer Zeit bestanden hat, allmählich hervorgeht. Für diesen kindlichen Knickfuß, der übrigens durchaus nicht immer zum Plattfuß wird, sondern häufiger ausheilt, gilt dann nach Hübscher, daß er am häufigsten schon im 1. und 2. Lebensjahre auftritt. Eine zweite Häufigkeitsperiode ist nach Hübscher die Zeit vom 7. bis zum 14. Altersjahr. Sie liefert vielleicht Vorstufen für einen Teil der Plattfüße, welche in der Pubertätszeit manifest werden. Übrigens können sich auch leichtere Formen wirklicher Plattfüße des Kindesalters in der Folge noch spontan zurückbilden. In manchen dieser Fälle soll eine Disposition zu späterer nochmaliger Ausbildung eines Plattfußes zurückbleiben.

3. Der Plattfuß der Pubertätszeit und des späteren Lebensalters.

Eine eigentliche krankhafte Diathese des Skelettes oder eine besondere primäre Schädigung der Muskulatur scheint im allgemeinen ausgeschlossen zu sein und nur die übermäßige oder einseitig habituelle Inanspruchnahme des Stütz- und Muskelapparates des Fußes scheint in Frage zu kommen in jener zweiten Lebensperiode vom 16. bis 20. Lebensjahre, in welcher so häufig Plattfüße sich ausbilden. Wohl aber ist in dieser Zeit der Körper überhaupt vulnerabler und die Ansprüche an seine Leistungsfähigkeit werden plötzlich intensiv gesteigert.

Das Leiden — als ein solches erweist es sich wegen der häufig dabei auftretenden Schmerzen und der oft recht beträchtlichen Funktions-

rung — entsteht besonders häufig bei jungen Personen, die anhaltend hen, oder im Stand schwere Arbeit verrichten müssen, bei gewissen brikarbeitern, Kellnern, Bäcker- und Schmiedelehrlingen, Müller- schen usw. Wie beim Kind, so sind es wohl auch hier besondere ituelle Haltungen, besondere Arten des Ganges und Standes und timmte Aktionen im Stand, welche besonders leicht zur Plattfuß- lung führen (s. darüber Baisch, l. c., S. 579).

Eine dritte Lebensperiode, in welcher häufiger Plattfüße ent- hen, ist das spätere Alter. Hier möchte die zunehmende Leibes- e sowie die Abnahme der Leistungsfähigkeit der Muskulatur von onderer Bedeutung sein, ferner die zunehmende Vulnerabilität des ht mehr regelmäßig trainierten Muskel- und Skelettapparates bei übergehender, stärkerer Inanspruchnahme.

γ) Entwicklungsmechanik des Plattfußes.

H. v. Meyers Lehre von der Pronation zwischen Talus d Calcaneus und von der Totaleinknickung im Chopart. itik derselben. Notwendigkeit der Detorsion im vorderen Teil des Fußes.

Grundlegende Untersuchungen über den Plattfuß hat G. H. v. yer angestellt. Schon in seiner „Statik und Mechanik" 1873, aus- rlicher aber in der 10 Jahre später veröffentlichten Abhandlung r den Plattfuß hat er auseinandergesetzt, daß die Abflachung des ßgewölbes in erster Linie darauf beruht, daß der unter dem Talus indliche Fußabschnitt, unsere subtalare Fußplatte, sich im ganzen h innen umlegt, wodurch die Valgität der Knöchelgegend be- gt wird. Dabei handle es sich um eine Drehung um die untere iefe Astragalusachse und eine Weiterführung dieser Be- gung über die normalen physiologischen Grenzen hinaus. s ist, was wir als Pronation zwischen Talus und subtalarer Platte zeichnen, wobei wir die Annahme machen, daß letztere in sich fest- stellt ist. Die Talusrolle ist horizontal zwischen den Knöcheln fest- halten, kann aber eine Drehung um die horizontale Achse des oberen runggelenkes ausführen im Sinne einer stärkeren Senkung des vor- ren Endes. Wie beim Aufsetzen des normalen Fußes im aufrechten and übernimmt die subtalare Platte nur die Längsrotation nach nen, über der Ferse und dem I. Metatarsalköpfchen (innere Grenze s Fußdreieckes) als Stützpunkten. Die Horizontaldrehung um eine rtikale Achse wird vom Talus zusammen mit dem Unterschenkel sgeführt, wobei der fibulare Teil des Taluskörpers nach vorn, der pf nach innen und hinten geht und der ganze Knochen sich mehr er nach innen stellt. Der Unterschenkel dreht sich mit, so daß der ßere Knöchel mehr nach vorn, der innere nach hinten sieht.

An 7 von ihm untersuchten Plattfüßen verschiedenen Grades fand H. Meyer Mittel für eine Ebene, welche Teilen anliegt, die vor und hinter der Articulatio caneo-cuboidea plantarerseits vorragen („Plantarrhombus"), eine Umlegung

nach innen im Betrage von $47^3/_4{}^0$ im Mittel gegenüber dem normalen Fuß. Für eine Linie in der distalen Fläche des Kuboides, welche mitten zwischen der Dorsal- und Plantarseite gelegen ist („Kuboidlinie"), fand er eine Umlegung von $42^1/_2{}^0$; für die „Tuberkellinie", welche das Tuberculum internum und externum des Fersenfortsatzes tangiert, ergab sich eine Drehung von $30^1/_2{}^0$ im Mittel im gleichen Sinn, für die „Fersenlinie" endlich, welche die Mitte der unteren Basis und die obere Spitze der abgeplatteten, dreieckigen, hinteren Fläche am Fersenfortsatz verbindet, eine Drehung von $12^1/_2{}^0$. Die Unterschiede im Grad der Umlegung erklären sich aus dem Umstand, daß in der Articulatio calcaneo-cuboidea ungleiche Supination und im Calcaneus eine verschieden große Torsion stattgefunden hat.

Die horizontale Drehung des Talus (von H. Meyer, Riedinger u. a. unpassender Weise als „Rotation" bezeichnet) kann gemessen werden durch den von oben her betrachteten Winkel zwischen der vertikalen mittleren Längsebene des Calcaneus und der mittleren Flexionsebene der Talusrolle. Diesen Winkel bestimmte H. Meyer für den normalen Fuß auf 7^0, für die von ihm untersuchten Plattfüße aber auf $16^3/_4{}^0$ im Mittel, so daß sich also für den Plattfuß eine stärkere Querstellung des Talus im Betrage von $9^3/_4{}^0$ ergab.

Größer ist die Abweichung der mittleren Flexionsebene der Talusrolle gegenüber dem vorderen Fußteil (ca. 29^0 im Mittel), was mit der Abduktion des Vorderfußes gegenüber dem Calcaneus (s. u.) zusammenhängt.

Infolge der Umlegung („Valgität") der subtalaren Platte und, wie wir hinzufügen, namentlich auch infolge einer hinzutretenden abduktorischen Abknickung des Vorderfußes, rückt die Talusrolle mehr und mehr gegenüber dem Unterstützungsdreieck des Fußes nach innen, bis die Mitte der oberen Peripherie der Rolle („Astragaluspunkt" von Meyer), ja bis schließlich die ganze obere Breite der Rolle nach innen über dasselbe hinausgerückt sein kann. Natürlich vergrößert sich dementsprechend das pronatorische Moment der am subtalaren Stück und am oberen Körperstück angreifenden, in gleicher Größe gegeneinander wirkenden Kräfte. Doch liegt unserer Meinung nach kein Grund vor, gerade dem Überschreiten des Astragaluspunktes über die innere Grenze des Fußdreieckes eine besondere Bedeutung beizumessen.

Die auf die wirksamen Kräfte der Pronation sich beziehenden mechanischen Darlegungen von H. Meyer halten wir nämlich nicht für völlig korrekt und ausreichend. Der genannte Autor nimmt an, daß die am Oberstück angreifende Kraft vertikal nach unten durch den Astragaluspunkt gerichtet ist (Schwerlinie), die Resultierende des Widerstandes aber am subtalaren Stück erst dann in einer anderen weiter außen gelegenen vertikalen Kraftlinie nach oben wirke wenn der Astragaluspunkt über das Fußdreieck nach innen hinaus gerückt ist. In Wirklichkeit aber muß unserer Meinung nach die am einzelnen Bein von oben gegen den Fuß hin wirkende Kraft um so mehr mit der Kraftlinie des resultierenden Widerstandes zusammenfallen, je besser der Zustand völliger Feststellung des Fußes erreicht ist. Ein pronatorischer Einfluß mit Bezug auf die Talo-Calcaneus-Achse kann trotzdem vorhanden sein, sobald nur die genannte Kraftlinie außen an dieser Achse vorbeigeht. Es ist ferner eine große und unstatthafte Einschränkung der Voraussetzungen, wenn man bei der Inanspruchnahme des Apparates nur genau senkrecht nach unten wirkende Kräfte (Schwere) am Oberstück berücksichtigt. Aus allem ergibt sich, daß die Mitte der Talusrolle („Astragaluspunkt") durchaus nicht über das

terstützungsdreieck des Fußes oder über die Talo-Calcaneus-Achse aus nach innen verschoben zu sein braucht, damit die äußeren Kräfte pronatorischem Sinne auf die Talo-Calcaneus-Verbindung einwirken.

Ein weiterer Fehler in den Darlegungen H. v. Meyers ist so-in, daß er von längsrotatorischen Umstellungen in der subtalaren 3platte einzig ein Sich-Umlegen nach innen, beruhend auf einer nation zwischen Calcaneus und Talus, in Betracht zieht. An dieser stellung nimmt nach ihm die ganze subtalare Platte teil, als ob in dieser Hinsicht ein starres Ganzes wäre. Am Fersenhöcker ist durch den Einfluß der Achillessehne markiert, am vorderen Ende Calcaneus, Kuboid und Naviculare kommt sie in vollem Betrag Geltung. Wenn aber der vordere Fußabschnitt an dieser Drehung nimmt, so müßten ja notwendigerweise die inneren Metatarsalfchen gegenüber den äußeren gesenkt sein und in den Boden eingen, oder letztere müßten vom Boden abgehoben werden, wenn ere der Unterlage aufruhen. Von einer supinatorischen, korrigielen Umstellung im vorderen Fußabschnitt, welche allein ermögen würde, daß die Metatarsalköpfchen alle nebeneinander dem en aufruhen (wie solches in der Regel beim Plattfuß tatsächlich der ist), berichtet H. v. Meyer nichts.

Dafür hat dieser Autor als zweite wichtige Eigentümlichkeit des Plattes eine Abknickung des Vorderfußes gegenüber dem Hinfuß nach oben, im Chopartschen Gelenk angenommen. Der re äußere Rand der Kopfgelenkfläche des Talus wird nach ihm durch ckatrophie abgerundet, der äußere obere Teil des Naviculare wird der Richtung von hinten nach vorn verschmälert. Eine der Länge h durch die Mitten der Innenseiten des Naviculare und ersten Keilis verlaufende Gerade hatte in ihrer Richtung zum Talus bei den ersuchten Plattfüßen im Vergleich zum normalen Fuß eine Abkung dorsalwärts im Betrage von $23^3/_4{}^0$ erfahren. Eine ebenso ße Dorsalabknickung glaubte H. Meyer am lateralen Fußnd nachweisen zu können (Dorsaldrehung des Kuboides gegenr dem Calcaneus im Betrage von $24^1/_4{}^0$). Und zwar handelte es sich vorzugsweise um eine Atrophie im dorsalen Teil des Calcaneus. Autor schloß hieraus, daß der vordere Teil der subtalaren Platte ler ganzen Breite des Chopart gleichmäßig gegenüber dem hinteren dorsalwärts aufgebogen werde, der Fuß im Chopart, also in seiner zen Breite gleichmäßig plantarwärts einsinke. Gegenüber der natorischen Umlegung der subtalaren Platte hält er aber diese Vererung für weniger wichtig und für sekundär.

Es ist nun aber völlig klar, daß an einer nach innen umgelegten talaren Fußplatte, an welcher das erste Metatarsalköpfchen den den berührt, während das Köpfchen des fünften Metatarsale vom den abgehoben ist, durch die Einknickung des Fußes in der ganzen ite des Chopart das fünfte Metatarsalköpfchen dem Boden nicht entlich näher gebracht wird. Damit solches erreicht wird und alle atarsalköpfchen ziemlich gleich gut nebeneinander dem Boden aufen, müßte entweder die Einknickung im Chopart innen stärker sein

als außen, oder es muß in dieser Gelenkzone oder in weiter vorn gelegenen Fußabschnitten eine Umstellung im Sinne der Supination stattfinden.

Die Lehre H. v. Meyers genügt also nicht zur Erklärung der Entstehungsweise des Plattfußes. Ich hoffe im folgenden eine Analyse des Vorganges geben zu können, welche besser befriedigt. Ich gehe dabei vom normal gebauten Fuß aus, nehme aber an, daß besonders große und lang anhaltende pronatorische Ansprüche an denselben beim Stehen gestellt werden.

2. Der Vorgang der Abflachung der Fußwölbung beim Plattfuß nach unserer Auffassung.

Beim Aufsetzen des Fußes auf den Boden gelangt in der Regel zuerst der äußere Fußrand mit der Unterlage in Berührung. Der Widerstand des Bodens und der Druck von oben wirken dann an der Außenseite der schrägen Talo-Calcaneus-Achse, aber zunächst auch an der Außenseite der schrägen Calcaneo-Kuboid-Achse vorbei gegeneinander. In beiden Gelenken findet Pronation statt, insofern sie nicht durch aktive Anspannung der Supinatoren verhindert wird. Der subtalare Fußteil wird nach innen umgelegt, bis vorn die Sohle in ganzer Breite den Boden berührt. Es drängen nun auch die mittleren und inneren Teile des gemeinsamen Zehenballens gegen den Boden. Zunächst übernehmen nun vorn die mittleren Metatarsalköpfchen den Hauptteil der Belastung und des Widerstandes des Bodens. Zuletzt werden bei gleichmäßiger Anspannung der Supinatoren und Pronatoren die inneren Metatarsalköpfchen mehr belastet, die äußersten Metatarsalköpfchen können entlastet sein. Dabei besteht immer noch ein pronatorisches Moment der äußeren Kräfte mit Bezug auf die schräge Talo-Calcaneus-Achse, obschon dasselbe wegen der Verkleinerung des Hebelarmes erheblich kleiner geworden ist. Dagegen sind nun mit Bezug auf die schräge Calcaneo-Kuboid-Achse die Verhältnisse anders geworden. Hier hat sich das pronatorische Moment der äußeren Kräfte in ein supinatorisches verwandelt.

Die weitere Umlegung der subtalaren Platte nach innen geschieht jetzt wesentlich nur noch am Calcaneus; das Naviculare bleibt über dem sich weiter senkenden Sustentaculum tali etwas, wenn auch noch so wenig zurück, während vielleicht am fibularen Fußrand der Calcaneus am Kuboid etwas emporsteigt — dies alles unter der Voraussetzung, daß die starken plantaren, vom Calcaneus zum Vordertarsus gehenden Bänder nicht gedehnt werden und die Bewegung um die schräge Calcaneo-Kuboid-Achse erfolgt. Es drehen sich infolge davon der Processus sup. calc. und das Naviculare einander zu und nähern sich (namentlich oben) einander.

Damit stellt sich der weiteren pronatorischen Eindrehung des Talusexzenters in den Zwischenraum zwischen Naviculare und Proc. sup. calcanei und der damit verbundenen weiteren Umlegung des Calcaneus, sowie dem Fortschritt in der Querstellung des Talus und in der Senkung

; Taluskopfes ein Widerstand entgegen. Unter normalen Verhält-
sen wird die ganze Bewegung des Talus und die Bewegung zwischen
lus und subtalarer Fußplatte gehemmt, lange bevor der Talus das
ximum der Querstellung erreicht hat, das bei gleichzeitiger Prona-
n in der Art. calcaneo-cuboidea und talo-calcanea möglich ist. Dem
natorischen Moment der äußeren Kräfte mit Bezug auf die schräge
lo-Calcaneus-Achse wird durch den exaxialen Reibungswiderstand
schen dem Talus und der subtalaren Pfanne Gleichgewicht gehalten.
r Fuß kann auf diese Weise festgestellt sein, auch wenn die Resul-
rende der Fußwiderstände (und des Druckes vom Unterschenkel her)
h außen von der Talo-Calcaneus-Achse vorbeigeht. Auch läßt sich
stehen, daß die Pronation des Calcaneus etwas weiter getrieben wird,
Fußgewölbe etwas tiefer einsinkt bei stärkerer Belastung, wie
hes von verschiedenen Autoren beobachtet worden ist.

Bei stärkerer pronatorischer Inanspruchnahme der Talo-
lcaneusverbindung, wie sie beim Stand auf dem inneren Fuß-
d entsteht durch stärkere Belastung des Körpers, namentlich wenn
Fuß nach innen drängt und der Unterschenkel kraftvoll einwärts
reht wird, kann schon bei normalem Fuß die Pronation so weit ge-
ben und die subtalare Platte so weit nach innen umgelegt werden,
3 der äußere Fußrand entlastet und vorn vom Boden abgehoben wird.
ches muß mit einer Änderung des Fußabdruckes in seinen vorderen
len verbunden sein (mangelhafter Abdruck des äußeren Fußrandes
h vorn hin). Diese Abhebung kann aber ganz vorn durch stärkere
kung der äußeren Metatarsalia korrigiert sein, aber doch in der
gel nur so weit, daß zwar alle Zehen und Metatarsalköpfchen den
den berühren, die Hauptunterstützung aber doch immer noch an
n inneren stattfindet. Bei dieser Art des Standes wird der innere
wölbebogen des Fußes auf seine Festigkeit stark in Anspruch ge-
mmen. Sofern der Widerstand gegen seine Formveränderung wesent-
n durch Bänder- und Knochenhemmung geleistet wird, kann eine
sonders starke, lang andauernde, oft wiederholte Beanspruchung dieser
t schließlich zu einem bleibenden Nachgeben der Konstruktion führen.

In der Anspannung und Verkürzung der Supinatoren der beiden intratarsalen
uptgelenke und in den Muskeln, welche die äußeren Strahlen plantarwärts
vegen (supinatorische Umstellung des Metatarsus durch Senkung der äußeren
tatarsalia) besitzen wir offenbar ein Mittel, um den Fuß supiniert und jedenfalls
n inneren Teil der Vordersohle hoch und entlastet zu halten und so der stärkeren
nspruchnahme des inneren Gewölbebogens vorzubeugen. Der äußere Fußrand
ibt der unterstützende Teil. Doch kann hierbei das pronatorische Moment
äußeren Kräfte ein beträchtliches sein; die Ansprüche an die Supinatoren
l dann sehr erheblich. Erschlaffen letztere infolge von Übermüdung oder
merzhaftigkeit der Kontraktion bei starker Anspannung, so muß die genannte
rkere Inanspruchnahme des inneren Fußgewölbebogens wieder zur Geltung
mmen.

Es sind in neuerer Zeit genugsam Fälle bekannt geworden, in welchen
e ausgesprochene Valgität des Calcaneus ohne Abplattung des Fuß-
wölbes zu beobachten ist (Pes valgus). Das ganze innere Fußgewölbe
hier gut erhalten und nur im ganzen etwas nach innen umgelegt,
s noch nicht zur Abflachung der Sohle führt. Hier handelt es sich

bloß um eine abnorm weitgehende pronatorische Einschraubung des Talus in den subtalaren Teil, der wohl nur durch eine Verminderung der exzentrischen Ausladung des Taluskopfes verursacht sein kann. Berührt die Sohle vorn den Boden in ganzer Breite, so muß dies durch eine stärkere Senkung der äußeren Metatarsalia im Lisfranc bewerkstelligt sein. Die Mitte des äußeren Fußrandes ist dann vom Boden abgehoben. Unterbleibt die Plantarflexion der äußeren Metatarsalia, so muß der äußere Fußrand im ganzen abgehoben sein. Im übrigen ist die Konfiguration des subtalaren Teiles unverändert. Die Veränderung geht nur so weit, daß das Naviculare seine Stellung zum Calcaneus und seine Entfernung von dem Processus superior des letzteren bei der weitergehenden Pronation noch beibehalten kann. Zu einer supinatorischen Drehung des Vordertarsus gegenüber dem Calcaneus kommt es nicht.

Eine wirkliche Abflachung des ganzen Fußgewölbes bildet sich erst, wenn sich mit der Möglichkeit der tieferen pronatorischen Einschraubung des Talus in den inneren Gewölbebogen eine wirkliche Abflachung des letzteren und wesentlich nur von diesem allein verbindet. Ob eine derartige Abflachung stattfindet oder nicht, hängt zunächst von der Art und Weise ab, wie die Exzenterhemmung geschädigt wird und teilweise auch von dem Grad der Veränderung und Schädigung.

Die Exzenterhemmung kann nämlich in verschiedener Weise geschädigt und beeinträchtigt werden. Erstens durch Nachgiebigkeit und Dehnung der starken, an der Plantarseite und am inneren Fußrand gelegenen Bänder zwischen Calcaneus und Naviculare; es kommt hier namentlich das Lig. calcaneo-naviculare plantare (Lig. acetabulare) in Betracht. Daß eine solche Dehnung stattfindet, wird vielfach angenommen, so von Lorenz, Petersen u. a. H. v. Meyer, R. Fick u. a. leugnen eine Verlängerung des genannten Bandes und bezweifeln zum Teil, daß überhaupt eine Dehnung der plantaren Bänder oder der Bänder überhaupt stattfindet. So weit möchten wir nicht gehen. Es kann ja unmöglich der Taluskopf so weit in den inneren Fußrand nach innen getrieben werden, wie es schon beim „beweglichen" Knickfuß und Plattfuß geschieht, ohne daß zunächst die hier gelegenen inneren plantaren Kapselbänder stark gedehnt und nach plantarwärts einwärts ausgebogen werden.

Doch setzt das Lig. calcaneo-naviculare der Verlängerung tatsächlich größeren Widerstand entgegen, insbesondere in seinen kürzeren lateralen Teilen. Auch durch seine Verbindung mit dem Kuboid wird das Naviculare in seiner Vorbewegung zurückgehalten. Da nun das Kuboid selbst innen plantar sehr fest mit dem Calcaneus verbunden ist, so kann das Naviculare nicht nach vorn gehen, ohne daß das Kuboid horizontal gedreht und außen stärker gegen den Calcaneus angepreßt wird. So gering auch die Verlängerung des Lig. calcaneo-naviculare inf. und die Abdrängung des unteren Randes des Naviculare vom Sustentaculum tali sein mag, so muß beides doch zur Folge haben, daß der übrige Teil des Vorderfußes in der Art. calcaneo-cuboidea nach

ßen abgelenkt wird. Indem aber der Fuß vorn und hinten dem Boden gesetzt bleibt, muß sich die seitliche Einknickung des Fußes Chopart darin äußern, daß die Gegend des Chopart nach innen drängt wird (Abduktion des Vorderfußes).

Die seitliche Einknickung im Chopart nach innen ist also vor allem Folge der im inneren Bogen durch die Einschraubung des Talusexters hervorgerufenen Verlängerung. Bei der Festigkeit der Verbing zwischen Vordertarsus und Calcaneus in der Mitte der Planta muß der Einstemmung neuer Teile zwischen Calcaneus und Naviculare wärts von dieser Stelle auch außen zwischen Calcaneus und Kuboid, Druckspannung vermehrt werden (häufig Druckschmerz hier am ßrand). Zu der Verlängerung des Innenrandes wird eine Verkürzung s Außenrandes hinzukommen, indem die vermehrte Druckspannung demselben in geringerem oder höherem Grade Druckatrophie in den eralen Teilen des Calcaneus und Cuboides bewirken kann. Beide mente kommen bei der Einknickung der subtalaren Platte nach nen (Abduktion des Vorderfußes) im Chopart in wechselndem Verltnis zur Geltung. Wenn die Verlängerung der plantaren und inneren nder am Taluskopf so zunimmt, daß das Naviculare bei der weiternenden Pronation am Taluskopf zugleich (gegenüber dem Calcaneus) rsalwärts gleiten kann, dann tritt gewissermaßen eine supinatorische ehung des Vorderfußes im Chopart hinzu, und damit im Zusammenng eine wirkliche Abflachung des inneren Gewölbebogens.

Die Abduktion des Vorderfußes wird im allgemeinen als ein chtiges und konstantes Charakteristikum des Plattfußes angesehen. tsächlich ist sie aber nicht immer gleich gut und gleich früh sgebildet. Sie steht in einem gewissen vikariierenden Wechselrhältnis zu den gleich zu besprechenden Erscheinungen der Druckrophie, die im Talus selbst und vor demselben in den Elementen des neren Gewölbebogens auftreten können. Sie ist weniger ausgeprägt id wird erst später deutlich, wo letztere Erscheinungen früh zur Gelng kommen, und umgekehrt.

H. v. Meyer fand an einem von ihm untersuchten Präparat eine Abduktion n 31° gegenüber dem normalen Fuß. Sie erreicht aber durchaus nicht immer esen hohen Betrag. Der scheinbare Betrag der Abduktion im Chopart wird erht durch die Plantarflexion der äußeren Metatarsalia (bei einwärts umgelegter btalarer Platte, s. u.). Ich vermute, daß sich die Einflüsse zur seitlichen Einickung des Fußes namentlich dann stärker geltend machen, wenn der Belastungsuck vom Unterschenkel her mehr gegen die Ferse hin gerichtet und mit Einärtsdrehung des Beines verbunden ist.

Eine zweite Veränderung, welche eine weitergehende Pronation des lcaneus gegenüber dem Talus resp. eine weitergehende pronatorische ndrehung des Talus in seine Pfanne ermöglicht, ist die Ausbildung on dorsalen Druckatrophien im inneren Hauptgewölbebogen. ie Bedingungen hierzu scheinen besonders dann günstig zu liegen, wenn r Fuß zunächst bei stark auswärts geneigtem Bein dem Boden mit m äußeren Fußrand vorn aufgesetzt wird, wobei eine maximale Pronaon zwischen dem Talus und der subtalaren Platte zustande kommt, id wenn nun erst der Fuß auch mit der Ferse auftritt, der Unterschenkel

aufgerichtet wird, das Knie nach innen geht und der vordere Sohlenstützpunkt auf die inneren Metatarsalköpfchen überwandert. Verbindet sich damit ein Andrängen des Fußes nach innen, so bleibt die starke Pronation zwischen Talus und Calcaneus erhalten, der Calcaneus wird stärker nach innen umgelegt, während nun doch der innere Fußrand vor dem Talus durch den Widerstand des Bodens unter dem ersten Metatarsalköpfchen zurückgehalten wird. Hier muß nun der Talusexzenter in relativ weit pronatorisch eingedrehter Stellung zwischen dem Naviculare und dem Processus sup. calcanei, die sich einander nähern, stark eingeklemmt werden. Es muß sich eine intensive Druckspannung im inneren Hauptgewölbebogen geltend machen, wobei das Herausgedrehtwerden des Talusexzenters durch die Reibung verhindert ist. Die Druckspannung kann unter solchen Umständen auf den Talusexzenter in seinem ganzen Bereich einwirken und ihn in der Richtung nach der Talo-Calcaneus-Achse hin komprimieren. Eine kräftige, langanhaltende und oft wiederholte Beanspruchung dieser Art muß zur „Druckatrophie" und zur allmählichen Verminderung der exzentrischen Ausladung des Taluskopfes führen. Es kann nun auch beim geraden Stand auf dem inneren Fußrand (Ferse und innere Metatarsalköpfchen) der Calcaneus weiter einwärts umgelegt, der Talus weiter als sonst pronatorisch horizontal eingedreht werden. Auch hier hängt es von dem Grad der Veränderung ab, ob das Naviculare seine Stellung zum Calcaneus beibehält, oder ob es bei weitergehender Pronation gegenüber dem Calcaneus zurückklappen und am Taluskopf dorsalwärts gleiten kann, wobei es dann auch wieder zu einer Abflachung des inneren Gewölbebogens (Plantareinknickung desselben im Chopart) kommt.

Man darf übrigens wohl annehmen, daß auch bei verhältnismäßig frühzeitiger Hemmung der Eindrehung des Talusexzenters die eingedrehten Teile durch die vermehrte Druckspannung zu etwelcher Atrophie gebracht werden können, und daß hierdurch der Widerstand gegen eine weitergehende Eindrehung allmählich vermindert wird. Es müssen dann sukzessive immer weitere Teile des Talusexzenters zur Eindrehung gelangen und von der Druckatrophie ergriffen werden.

Bei der vermehrten Druckspannung im inneren Hauptgewölbebogen wird nun aber der Talus nicht der einzige Teil sein, der in seiner Form verändert wird und Erscheinungen der Druckatrophie zeigt. Tatsächlich beobachten wir, daß mit der Atrophie am Taluskopf auch meist eine Druckatrophie am Naviculare Hand in Hand geht. Sie macht sich naturgemäß nach der dorsalen Seite hin stärker geltend. Am I. Keilbein ist weniger eine solche Druckatrophie zu beobachten, als vielmehr mitunter eine schräge Verzerrung im Sinne einer Dorsalwärtsschiebung der distalen Teile gegenüber den proximalen (Obliquität).

Alle diese Erscheinungen tragen zu der Abflachung des inneren Gewölbebogens bei. Wie man sieht, handelt es sich bei diesem Vorgang, der mit dem Insuffizientwerden der Exzenterhemmung Hand in Hand gehen kann und welcher erst aus dem Pes valgus einen Pes valgo-planus macht, um das Dorsalwärtsausweichen des

neren Fußrandes vor dem Calcaneus und die supinatorische Umstellung und Detorsion des Vorderfußes.

Solange beim Stand auf der Sohle der Druck vom Unterschenkel außen an der Talo-Calcaneus-Achse vorbei gegen die Unterstützungsakte wirkt, ist die Tendenz zu fortschreitender Einwärtsneigung des caneus gegeben; sie führt zur Entlastung der äußeren Metatarsalia, rn nicht supinatorische Muskelgegenkräfte es verhindern; sie ist größert, wenn der Druck vom Unterschenkel her vergrößert ist und t genau senkrecht nach unten, sondern nach unten und innen wirkt; Einknickung des Fußes am Chopart nach innen ebensowohl wie die ädigung der Exzenterhemmung durch Verschwinden der Exzentertalt des Talus und durch Druckatrophie im Naviculare führt jedenfalls, auch ohne die Abflachung des inneren subtalaren Gewölbebogens, einer weiteren Umlegung des Calcaneus und des mit ihm versteiften derfußes nach innen und zu einer weiteren Abhebung der äußeren tatarsalköpfchen vom Boden, sofern nicht eine supinatorische Umllung in dem vor dem Calcaneus gelegenen Fußabschnitt stattfindet. ch die von H. v. Meyer angenommene Dorsalaufbiegung des Vorderes in der ganzen Breite des Chopart würde hieran zunächst nichts dern, wie wir oben erläutert haben.

Nun wurde gezeigt, daß der innere, von der Ferse zu den inneren tatarsalköpfchen verlaufende Gewölbebogen bei stärkerer pronatorier Einwirkung der Kräfte zur Pronation im unteren Sprunggelenk nz besonders stark in Anspruch genommen sein muß. Dieser Gelbebogen ist gegen Abflachung weniger als der äußere durch Bänder d Knochenhemmung geschützt. Dagegen kann die Muskulatur in sgiebigerer Weise zu seiner Hochhaltung beitragen. Mit der verehrten Belastung des inneren Gewölbebogens steigern sich die Anrüche an die betreffenden Muskeln. Erschlaffen sie oder wird ihre ontraktion schmerzhaft, so ist die Gefahr des Nachgebens der Skelettmmungen vorhanden.

Naturgemäß handelt es sich dann nicht um eine gleichmäßige orsalaufbiegung des ganzen Vorderfußes im Chopart, wie sie H. v. Meyer genommen hat, sondern um ein Nachgeben und Ausweichen zunächst r inneren, vor dem Talus gelegenen Teile des Vorderfußes. Diese Verderung kann sich äußern in einer Supination des Vorderfußes im opart, aber auch in einer supinatorischen Umstellung vorderer Teile s Vorderfußes und speziell der Metatarsalköpfchenreihe gegenüber nteren Teilen, stets also in einer Detorsion im vorderen Fußabchnitt. Im einen wie im anderen Fall ermöglicht sie, daß trotz des ortschrittes in der Einwärtsneigung des Calcaneus, selbst bei weitgehender pronatorischer Eindrehung des Talus in seine Pfanne bei insuffienter Exzenterhemmung, auch die äußeren Metatarsalköpfchen dem oden aufruhend bleiben, ja daß sie schließlich, wenn eine weitere mlagerung des Calcaneus nicht mehr möglich ist, weil das Fußgelbe gänzlich abgeflacht ist (es ist dann auch kein pronatorisches oment der äußeren Kräfte mit Bezug auf die Talo-Calcaneusachse mehr

vorhanden), wieder in gleicher Weise wie die inneren Metatarsalköpfchen den Widerstand des Bodens übernehmen.

Hiermit soll ausdrücklich nochmals betont werden, daß ohne die Abflachung des inneren Fußgewölbebogens eine Valgität der Sprunggelenkgegend nur bei gleichzeitiger Entlastung und Abhebung der äußeren Metatarsalköpfchen zustande kommt. Fälle von Valgität ohne Abflachung werden wirklich beobachtet (s. u. S. 303). Die innere Auskehlung der Fußform verschwindet nicht vollständig. Erst bei gleichzeitiger Dorsalablenkung der Innenteile des Vorderfußes und hierdurch bedingter supinatorischer Umstellung (Detorsion) des Vorderfußes entsteht die voll ausgebildete, typische Form des Plattfußes, welche wir deshalb genauer als Pes postice valgus (s. pronatus), antice detorsus (s. supinatus) bezeichnet haben.

Hoffa hat den Plattfuß als Pes flexus pronatus reflexus bezeichnet, um anzudeuten, daß der Fuß im oberen Sprunggelenk plantarflektiert und in den unteren Gelenken zwischen Calcaneus und Talus proniert, im Chopart dagegen (nach H. v. Meyer) dorsalflektiert ist. Petersen fügte noch die Bezeichnung abductus hinzu.

Dem gegenüber erscheint mir besonders wichtig der Hinweis auf die Pronation resp. Valgität in den Gelenken zwischen Talus und Calcaneus und auf die Detorsion im vorderen Fußabschnitt. Die Abduktion des Vorderfußes ist eine wechselnd stark ausgeprägte Nebenerscheinung, die totale Dorsalabbiegung des Vorderfußes kommt erst den Spätstadien zu.

Die Art und Weise aber, wie die Innenteile des Vorderfußes dorsalwärts ausweichen und die supinatorische Detorsion des letzteren zustande kommt, kann im einzelnen verschieden sein, indem eine Mehrzahl von Faktoren dabei beteiligt sind.

1. Vor allem kann in Betracht kommen eine effektive Supination in der Articulatio calcaneo-cuboidea. Verlängerung des Lig. acetabulare, ebenso wie Schwund der exzentrischen Ausladung des Talusexzenters können bewirken, daß der Calcaneus sich nicht bloß weiter als normal nach innen umlegen, sondern daß er mit seinem Sustentaculum hinter dem Naviculare plantarwärts absteigen kann. Das Naviculare rückt dabei am Taluskopf nach oben, seine Längaschse steigt vorn in die Höhe. Insofern als der übrige Vordertarsus der Bewegung des Naviculare folgt, kommt es zu einer wirklichen Supination des Vordertarsus um die schräge Achse der Articulatio calcaneo-cuboidea.

Das Kuboid, insofern es an dieser Drehung teilnimmt, muß sich außen gegenüber dem Calcaneus etwas plantarwärts schieben. Die Gelenkflächen der Articulatio calcaneo-cuboidea müssen eine gewisse Umgestaltung erfahren. Entsprechend der Drehung um die genannte Achse erhebt sich der innere Rand des Vorderfußes relativ gegenüber dem äußeren, aber auch gegenüber dem Calcaneus, resp. da das erste Metatarsalköpfchen auf dem Boden aufruhend bleibt, senken sich die äußeren Metatarsalköpfchen zum Boden, es senkt sich ferner absolut auch das Naviculare und in noch stärkerem Maße das Sustentaculum tali.

In ähnlicher Weise äußert sich nun auch jede weitere Dorsalablenkung vorderer Teile des inneren Fußrandes gegenüber hinteren bei auf dem Boden ruhendem ersten Metatarsalköpfchen in einer Senkung des

teren Endes des abgelenkten Teils, des dahinter gelegenen Scheitels Krümmung und des Sustentaculum tali.

2. Einen solchen weiteren Beitrag zur Dorsalablenkung liefert die dem Dorsum hin stärker ausgeprägte Druckatrophie des Naviare und eine unter Umständen angedeutete analoge dorsale Druckphie des ersten Keilbeins.

3. Eine Dorsalablenkung kann aber auch dadurch bewirkt sein, an den in dorsovolaren Linien nach vorn konvexen vorderen Gelenktten des Naviculare die Keilbeine und vor allem das erste ilbein dorsalwärts gleiten, unter Verschiebung der Mittellage unter Dehnung und Verlängerung der zugehörigen plantaren Gekapseln resp. Gelenkbänder. In ähnlicher Weise können die inneren tatarsalia und namentlich das erste Metatarsale an den lbeinen dorsalwärts verschoben und nach der Dorsalseite zu abenkt werden. Kleine Verschiebungen dieser Art haben mit Bezug die Abflachung des inneren Gewölbebogens zusammen immerhin einen it unbeträchtlichen Effekt.

Es muß in allen diesen soeben besprochenen Fällen eine Formänderung im Vordertarsus und Metatarsus im Sinne einer torsion und Supination vorderer Abschnitte gegenüber teren resultieren. Mit der Dorsalablenkung und Dorsalwärtsverebung vorderer Elemente gegenüber ihren hinteren Nachbarn verdet sich zugleich eine analoge, wenn auch geringere Bewegung gegenr ihren äußeren Nachbarn. Hierher gehört auch eine allfällige Dorwärtsverschiebung des Naviculare an der Seite des Kuboides.

4. Damit sind aber die Möglichkeiten der Deformation im Vordersus und Metatarsus noch nicht erschöpft. Zu den Verschiebungen Elemente gegeneinander kann noch eine Deformation der Elente selbst hinzutreten im Sinne einer Parallelverschiebung distaler erschnitte gegenüber den mehr proximal gelegenen, wie solches mentlich deutlich mitunter am ersten Keilbein zu beobachten ist (s. o.).

Die supinatorische, detorquierende Durchbiegung des Vorder- und Metasus beim Plattfuß ist zur Zeit noch nicht genauer studiert und das gleiche muß der supinatorischen Verschiebung im Chopart gesagt werden. Auffällig ist on bei anscheinend normalen Füßen der große Unterschied in dem Umfang möglichen supinatorischen resp. detorquierenden Umstellung der subtalaren Platte.

So zeigt sich häufig das erste Metatarsale in höherem Grade gegenüber dem en Keilbein dorsalwärts verschieblich. Ganz besonders auffällig ist aber die rs vorkommende Verschieblichkeit des ersten Keilbeins gegenüber dem Navire; etwas vergrößert ist dann auch die Verschieblichkeit des zweiten und dritten atarsale gegenüber den hinter ihnen liegenden Keilbeinen und dieser selbst enüber dem Naviculare. Es zeigt hier also die ganze vor dem Naviculare liegende tie des inneren Fußrandes eine besondere Aufbiegungsfähigkeit. Aber auch das viculare läßt sich mitunter an Bänderpräparaten ohne Mitbewegung des Kudes gegenüber demselben und dem Calcaneus (Taluskopf) in auffällig vergrößer- Maße dorsalwärts und plantarwärts schieben, solange der Talus nicht pronasch in die subtalare Platte eingedreht ist, und mitunter sogar trotz einer soln Eindrehung.

Meiner Meinung nach ist nun beim Plattfuß, von sehr weit fortchrittenen Fällen mit starker Knochendeformation abgesehen, die

Ausgiebigkeit der supinatorischen Umstellung eine sehr beträchtliche und ist die Grenze derselben bis zur vollkommenen Detorsion hin verschoben.

3. Das Verhalten der Muskeln bei der Entstehung des Plattfußes.

Wir haben bereits hervorgehoben, daß die Supinatoren, indem sie den Stand auf dem äußeren Fußrand begünstigen, einen gewissen Schutz gewähren gegen die Herstellung der für die Entwicklung des Plattfußes günstigen Bedingungen. Für gewöhnlich besteht ein nützlicher Wechsel in der Benutzung des inneren und äußeren Fußrandes zur Unterstützung beim Stehen und Gehen. Gewisse individuelle Verschiedenheiten mögen hierbei eine Rolle spielen. Bei stärkerem und anhaltendem Druck von oben, namentlich wenn er mit Seitenschub nach innen verbunden ist, kann jedenfalls der Stand auf dem äußeren Fußrand auf die Dauer nicht beibehalten werden.

Es wäre durchaus einseitig, dabei immer nur an den geraden aufrechten Stand auf beiden Füßen zu denken. Vielmehr handelt es sich um eine außerordentliche Mannigfaltigkeit wechselnder Stellungen. Oft ist dabei nur der eine Fuß in Anspruch genommen, beim Stehen auf einem Bein, beim Gehen, Laufen und Springen, in welchem Fall der Fuß vorübergehend oder während längerer Zeit das ganze Körpergewicht zu tragen oder noch größere Einwirkungen auszuhalten hat. Hierbei wirkt der Druck von oben oft während längerer Zeit nur auf den inneren Gewölbebogen des Fußes, mit starkem pronatorischem Moment in bezug auf die schräge Talo-Calcaneus-Achse. Gewisse Berufsarten stellen in dieser Hinsicht besonders große Anforderungen, wenn ihre Ausübung mit anhaltendem Stehen (Kellner), mit Hinüberwälzen der Körperlast und besonderer Traglasten von einer Seite auf die andere (Bäcker) verbunden ist usw.

Hier sind nun die Muskeln, welche das innere Fußgewölbe hochhalten, von ganz besonderer Bedeutung, um der Entstehung des Plattfußes entgegenzuarbeiten. Ihr Einfluß macht sich in zweierlei Weise geltend: erstens in der Verhinderung der Dorsalablenkung resp. des Dorsalwärtsausweichens vorderer Abschnitte des Gewölbebogens gegenüber hinteren, zweitens in der Rückwärtsschiebung der vor dem Talus gelegenen Elemente in ihrer Längsrichtung gegen den Taluskopf und den Processus sup. calcanei hin (von Schultheß als „Stauchung" bezeichnet). Der erstgenannte Einfluß hindert die supinatorische Deformation und die Detorsion des Vorderfußes. Ein passiver Widerstand hiergegen wird nur durch den Druckwiderstand der Skelettstücke, namentlich in ihren dorsalen Teilen und durch die plantaren Bänder geleistet, welche über die beteiligten Gliederungsstellen hinüber von hinten oder von außen her gegen die Basis der ersten Metatarsalia hinlaufen. Von den Muskeln aber sind der Flexor hallucis longus und ganz besonders der M. peroneus longus geeignet, der Deformation entgegenzutreten, indem sie das erste Metatarsale und mit ihm auch das erste

ßbein nach der Planta zu ablenken, resp. sie in ihrer plantaren Stellung
ıalten. Auch der M. tibialis post. wirkt in ähnlichem Sinne,
m er weiter rückwärts am inneren Fußrand (Naviculare und Keil-
«-) angreift. Mit Bezug auf die Talo-Calcaneus-Achse und auf die
se der Articulatio calcaneo-cuboidea halten sich die beiden letzt-
nnten Muskeln ungefähr Gleichgewicht, wobei der erstere proniert,
zweite supiniert.

Beide Muskeln unterstützen sich nun aber darin, daß sie den prä-
ren Teil des inneren Fußrandes kraftvoll rückwärts gegen den Talus-
drängen. Dadurch wirken sie der Dehnung der inneren plantaren
ler zwischen Naviculare und Vordertarsus entgegen und hindern
Abduktion des Vorderfußes im Chopart. Sie bewirken gleichsam
Anziehen der Bremse, durch welche die pronatorische Ein-
ung des Talusexzenters in die Pfanne der unteren Sprunggelenke
mmt wird. Einen gewissen Einfluß zur Annäherung des Navicu-
an den Processus sup. des Calcaneus und das Sustentaculum tali
ıltet übrigens auch der Flexor hallucis longus, insofern er um
Sustentaculum tali herumbiegt (durch die Spannung des vor dem
enpunkt gelegenen Sehnenabschnittes). Endlich dienen der M. ab-
tor hallucis und der innere Teil der Fascia plantaris zur
taren Verklammerung des inneren Fußgewölbebogens, ersterer inso-
, als die Plantarbewegung der großen Zehe gehemmt ist. Auch
handelt es sich sowohl um Verhinderung der Dorsalabbiegung am
alaren inneren Fußrand, als um einen Widerstand gegen die Ab-
ıgung des Naviculare vom Processus sup. des Calcaneus.

Wir dürfen wohl annehmen, daß die genannten Muskeln unter
ınalen Verhältnissen, beim Stand auf dem inneren Fußrand, aktiv
spannt sind, um dessen Wölbung hochzuhalten. Werden aber diese
skeln aus irgend einem Grunde insuffizient (Übermüdung, Schmerz-
igkeit der Kontraktion usw.), und dauert die erhöhte Inanspruch-
me des inneren Gewölbebogens fort, so müssen die passiven, im
lett gelegenen Widerstände in übermäßiger Weise in Anspruch ge-
ıımen werden. Die Bedingungen zu allmählicher Deformation der
ıstruktion sind dann gegeben.

Anfänglich kleine Veränderungen können sich summieren und leicht
eine Grenze überschritten, von der an jede der genannten Verände-
gen und damit auch die Detorsion im vorderen und die Valgität
hinteren Fußabschnitt rascher fortschreitet, bis die Fußwölbung
lig verschwunden ist.

Daß die Insuffizienz der Muskulatur bei der Entstehung des erworbenen
ischen Plattfußes eine wichtige Rolle spielt, ist heute allgemein anerkannt.
t werden die Supinatoren für die Aufrechterhaltung der Fußwölbung verant-
tlich gemacht. König u. a. haben dem Tibialis post. eine besondere Wichtig-
zuerkannt; es ist ja auch klar, daß ungenügende Übung, Ermüdung, überhaupt
ninderter Einfluß der Supinatoren das Einsinken des Fußes in Pronations-
ung begünstigt und zu stärkerer Inanspruchnahme des inneren Fußrandes
t. Für die Abflachung des letzteren müssen aber andere Muskeln verantwort-
gemacht werden. Hübscher fand bei 8 anatomisch untersuchten Platt-
en den Tibialis posticus nicht wesentlich verändert; es waren von den langen

Muskeln des Unterschenkels einzig der Flexor hallucis longus und die hinteren Peronei in stärkerem Grade atrophisch. Nach Duchenne bedingt Lähmung des Tibialis posticus zwar eine Neigung zur Valgusstellung, führt aber schließlich zum Pes cavo-equinus mit Klauenstellung der Zehen. Nicoladoni, der früher den Supinatoren und dem Tibialis die Hauptschuld gab, hat später Fälle von Lähmung des Tibialis posticus ohne Plattfußbildung beobachtet und legte nunmehr das Hauptgewicht auf die Insuffizienz und Atrophie der kurzen plantaren Fußmuskeln. Ihm schloß sich Hofmann an (1903). Er fand beim Plattfuß im Gegensatz zum Hakenfuß die kurzen Muskeln der Fußsohle stark plattgedrückt und degeneriert. Doch ist klar, daß solches nicht die Ursache, sondern die Folge des Einsinkens des Fußgewölbes sein kann. Nach Hübscher ist bei letzterem vor allem der Flexor hallucis longus betroffen — ob als Ursache oder als Folge der Fußabplattung, läßt er dahin gestellt. Das Überwiegen der Strecker der großen Zehe äußert sich in geänderter Stellung der letzteren und ist ein konstantes frühes Symptom beim Plattfuß. Antonelli glaubt, daß der genannte Muskel allein die Längswölbung des Fußes zu erhalten vermag (?).

Es ist nicht überflüssig, immer wieder auf die schönen Untersuchungen von Duchenne hinzuweisen, aus denen die Bedeutung des Peroneus longus unzweideutig hervorgeht. Duchenne hat jedenfalls soviel festgestellt, daß in der Regel Lähmung dieses Muskels zur Bildung eines Plattfußes führt. Sein Insuffizientwerden infolge abnormer Belastung des inneren Fußrandes muß demnach von ausschlaggebendem Einfluß sein. Daß daneben auch noch andere Momente in Betracht kommen, ist nach unseren früheren Auseinandersetzungen wohl verständlich.

Merkwürdig sind die Beobachtungen von Vulpius, der nach traumatischer Durchtrennung der Sehne des Tibialis ant. einen Plattfuß auftreten sah und von Müller und Giani über Plattfüße bei Schwäche des genannten Muskels. Widersprechend und nicht geklärt sind die Angaben über Veränderungen des Volums, der Faserlänge und Faserzahl an den Wadenmuskeln und über die Abänderung in der Exkursionsweite der einzelnen Fußgelenke (s. Baisch, Ergebnisse der Chirurgie und namentlich Hofmann, Zur Anatomie und Mechanik des Platt- und Hackenfußes, Zeitschr. f. Chirurgie. Bd. 68. S. 347). Hofmann fand bei Plattfüßen das Muskelfleisch des Soleus und auch die Muskelbäuche der Gastrocnemii auffällig weit gegen die Ferse hinabreichend. Dies ist aber nicht ein Zeichen vergrößerter Faserlänge, die nach Hofmann im Zusammenhang stehen würde mit der Verlängerung (bessere Horizontalstellung) des Hebelarmes der Ferse, sondern eher auf Vermehrung oder Verdickung der Muskelfasern (Vergrößerung des physiologischen Querschnittes, stärkere Inanspruchnahme auf Spannung) zurückzuführen. Die Exkursionen der Ferse müssen beim Plattfuß wohl verkleinert sein und es ist deshalb hier wohl eher eine Abnahme als eine Zunahme der Faserlänge zu erwarten.

Aus den perimetrischen Untersuchungen von Hübscher ergibt sich, daß mit dem Fortschritt in der Ausbildung des Plattfußes eine allmähliche Verengerung des Exkursionsfeldes der Fußspitze in beiden Richtungen einhergeht. Insbesondere werden die seitlichen Exkursionen nach innen mehr und mehr eingeschränkt. Die äußere Exkursionsgrenze ändert sich zunächst wenig. Die Mittelstellung ist also im Sinne der Pronation (Abduktion) verschoben, die Pronations-Supinationsbewegung immer mehr reduziert. Schließlich schrumpft beim kontrakten Plattfuß das Exkursionsfeld sozusagen auf einen Punkt in abduzierter Stellung zusammen. Natürlich ist auch die Dorsalplantarbewegung in den Sprunggelenken mehr und mehr beeinträchtigt.

4. Rückblick.

Wie mir scheint kommt es in der Regel fast gleichzeitig zu tieferem Einsinken des inneren Gewölbebogens und zu weitergehender Pronation zwischen Talus und Subtalarplatte. Der Talusexzenter wird tiefer in die subtalare Pfanne eingedreht; die Hemmung der Pronation ist ausschließlich den exaxialen Reibungswiderständen überlassen, welche bei

r federnden Einklemmung zwischen Calcaneus und Naviculare wach-rufen werden. Die dorsale Druckspannung muß bei gleicher Be-stung in dem abgeflachten Bogen eine viel größere sein. Außerdem rgrößert sich mit der zunehmenden Valgität des Calcaneus der Hebel-m des pronatorischen Momentes der äußeren Kräfte; beides ist wichtig r den progressiven Charakter der Veränderung.

Sinkt die innere Fußwölbung anfänglich auch nur wenig tiefer ein, d schraubt sich auch der Talus beim Stand auf dem inneren Bogen nächst nur wenig tiefer, so stellen sich doch bei längerem Andauern r neuen Bedingungen bleibende anatomische Veränderungen ein, eine rlängerung der plantaren Bänder und namentlich eine Druckatrophie den dorsalen Teilen der Skelettstücke mit Inbegriff der Rückbildung r Exzentergestalt des Talus. Das Verhältnis der verschiedenen wei-ren Veränderungen an den verschiedenen Teilen des Apparates scheint cht immer dasselbe zu sein. Das eine Mal ist die Verlängerung der nder minimal, die Druckatrophie das zuerst Hervorstechende, und er wieder können erstes Keilbein, Naviculare und Talusexzenter mehr eichmäßig oder ungleich betroffen sein. Bei fehlender Bandverlänge-ng unter dem Taluskopf kommt es zu keiner wesentlichen Abduktion s Vorderfußes.

In anderen Fällen wird das Naviculare nach vorn und innen vom lcaneus weggedrängt unter Verlängerung des Lig. calcaneo-navicu-re inferius (wenn statt derselben nicht ein stärkeres Auswachsen des stentaculumrandes stattfindet). Solches ist von einer Einknickung s Fußes nach innen im Chopart begleitet. Am Außenrand der Fuß-tte macht sich eine stärkere Druckspannung geltend, vor und hinter r Articulatio calcaneo-cuboidea kommt es zu Druckatrophie.

In den Anfangsstadien des Prozesses, der zur Bildung des Platt-ßes tendiert, kann wohl durch Vermeidung der einseitigen Inanspruch-hme des Fußes und allseitigere Fußbewegung und Fußmuskelgymnastik s Weiterschreiten des Prozesses noch hintangehalten werden. An nd für sich aber wohnt dem Vorgang der Deformation eine progressive ndenz inne, indem durch die auftretenden anatomischen Veränderungen e Bedingungen für das Weiterschreiten des Prozesses begünstigt rden. Ein gewisser Abschluß ist erst erreicht, wenn die Fußaus-hlung äußerlich beim Auftreten auf den Fuß ganz verschwunden ist. och können jetzt noch weitere Veränderungen neuer Art hinzutreten.

Schon Hüter hat im II. Bande seiner Klinik der Gelenkkrank-iten (S. 156, 1877 und früher 1876 in einer Entgegnung gegen Henke) rauf hingewiesen, daß es bei inveteriertem Plattfuß in höherem Alter einer Ausbiegung des Fußskelettes nach unten kommen kann. Der anke trete dann mit dem vorderen Schenkel der Krümmung auf, n die druckempfindlichen mittleren Teile zu schonen, woraus sich ne habituelle Plantarflexion des Talus im oberen Sprunggelenk ergebe.

Wir haben nachgewiesen, daß es nicht genügt, mit H. v. Meyer ben der Valgusstellung der subtalaren Fußplatte noch eine plantare nknickung in der ganzen Breite des Chopart anzunehmen, um die ntstehung des typischen Plattfußes zu verstehen; daß vielmehr zu

der Umlegung des Calcaneus nach innen eine Detorsion des vorderen Fußteiles hinzukommen muß.

Wenn aber die Fußwölbung ganz verschwunden ist, dann allerdings kann noch eine totale plantare Einknickung des Fußes in der ganzen Breite des Chopart sich ausbilden.

H. v. Meyer fand bei einem Plattfuß geringen Grades im Vergleich zum normalen Fuß eine Dorsalablenkung des Kuboides von 7°, bei Plattfüßen mittleren und höheren Grades dagegen eine solche von 23—26°. Am Innenrand des Fußes betrug die Dorsalablenkung (der Längsachse) des Naviculare nach dem gleichen Autor bei einem Plattfuß niedrigen und einem solchen höheren Grades 17—18°, bei einem solchen höheren Grades aber 30°. Für das Verständnis der Entwicklung des Plattfußes sind die frühen Stadien besonders wichtig und hier ist selbst nach H. v. Meyers Messungen die Dorsalablenkung am Naviculare größer als am Kuboid, weitere Dorsalablenkungen können an den weiter vorn gelegenen Gelenken des inneren Fußrandes bestanden haben.

δ) Skelettdeformationen beim Plattfuß.

Die pronatorische Drehung zwischen Talus und Calcaneus geht in den Plattfüßen höheren Grades so weit, daß der fibulare Teil des Taluskörpers über die Gelenkfläche des Processus sup. calcanei vorn hinausrutscht und sich in den Grund der davorgelegenen Rinne mit seiner vorderen unteren Kante einsenkt, wobei die scharfe Kante allmählich abgerundet und die Rinne vertieft wird. Der Taluskopf rückt vom Processus ant. des Calcaneus mehr und mehr nach innen ab und gelangt immer weiter auf dem Sustentaculum tali nach innen und hinten. Diese Prozesse sind von Veränderungen in den Berührungs- und Gelenkflächen begleitet, die schon von Hüter, H. v. Meyer u. a. genauer beschrieben worden sind.

Am Talus wird z. B. infolge des Tiefertretens des Kopfes ein vorderer Streifen der Rolle bleibend entblößt. Der Knorpel erfährt hier eine Rück- und Umbildung. Hinten an der Rolle drückt die Tibia auf den Talus und bewirkt Veränderungen. Malleolus externus und Außenseite des Calcaneus nähern sich mit der Zeit einander bis zur Berührung und es bildet sich zwischen ihnen eine Art Gelenk aus etc. Weitgehende Umgestaltung erfahren die Gelenkflächen auf dem Sustentaculum tali und Proc. ant. calcanei und diejenigen am Taluskopf.

Aber auch tiefergreifende Umgestaltungen der Form der Skelettstücke ergeben sich bei längerer Dauer der veränderten Inanspruchnahme. Sie entwickeln sich um so rascher, je weicher und bildsamer das Skelettmaterial ist, und je lebhafter es in seinen Apposition- und Resorptionsvorgängen auf neue mechanische und nutritive Bedingungen reagiert. Hieraus erklären sich manche Verschiedenheiten des Verhaltens. Vor allem zeigt sich an vielen Stellen infolge des anhaltend verstärkten Druckes der Knochen gegeneinander eine Verkürzung der Skelettstücke in der Richtung des Druckes. Ich stelle mir vor, daß solche Druckatrophien nicht durch interstitiellen Schwund und einfache Verkürzung der einzelnen Knochenbälkchen zustande kommen, sondern durch Biegung der überlasteten Trajektorien

ufügung neuer Knochensubstanz an die gebogenen Bälkchen, so daß irzere und dickere Balken entstehen, und nachträgliche allmähliche usmerzung der alten, abnorm gespannten Teile der Bälkchen durch Reeption, vielleicht auch durch ein allmähliches Nachlassen der Spanngen in der gepreßten Form durch molekulare Umlagerung.

Ein stärkeres appositionelles Wachstum an Stellen, wo stärker anspruchte Bänder sich ansetzen oder eine stärkere Inanspruchnahme s Periostes stattfindet, ist vielerorts nachweisbar. Auch eine Beinflussung der Ossifikationszonen durch veränderte mechasche Bedingungen ist namentlich im jugendlichen Alter von Bedeutung.

„Bei wachsenden Knochen wird das Wachstum in der Art beeinflußt, aß, wo die Knochen auseinanderklaffen, also auf der inneren Seite s Fußes, das Wachstum in verstärktem Maße auftritt, während es f der Außenseite, wo die Knochen sich aufeinanderdrängen, zurückeibt" (König, Spez. Chir. 1877). Daß aber eine wirkliche Verlängerung schon gebildeter Knochensubstanz durch Entlastung oder stärkere gbeanspruchung hervorgerufen werden kann, ist mehr als fraglich.

Besonders weitgehende Verkürzungen der Knochendimensionen rch Atrophie zeigen sich am Naviculare und am Taluskopf. Das aviculare wird häufig zu einem schmalen Keil mit nach unten und nen gewendeter Basis umgewandelt. Der Taluskopf stößt an dasselbe cht mehr mit seiner ursprünglichen Endwölbung, sondern mit der sprünglichen Außen- und Oberseite seines Kopfes und Halses an und fährt hier eine weitgehende Abtragung. Die Berührungsfläche kann it ihrem äußeren Rand ganz nahe an die Talusrolle herangerückt sein. ie oberen Ränder der aneinanderstoßenden Teile des Naviculare und alus erscheinen dafür meist kammartig nach oben herausgepreßt.

Eine mindestens ebenso wichtige Rolle wie die bis jetzt genannten eränderungen spielen Verzerrungen der Skelettstücke im Sinne er Wirkung torquierender und scherender Kräfte. Sie können allmählich bei längerer Dauer ungewöhnlicher Inanspruchnahme oder uscher bei relativ weichem Bildungsmaterial zustande kommen. Kleine, ng andauernde oder häufig wiederholte Verzerrungen können fixiert erden und sich zu erheblichen Beträgen summieren, wie sich solches n den Wirbeln bei der Skoliose (Torsionen, Obliquitäten etc.) konstaieren läßt. Beim Plattfuß zeigt sich diese Erscheinung namentlich eutlich am Talus und Calcaneus. Die Schrägstellung des Calcaneus eruht nicht rein auf einer Drehung, sondern bald mehr, bald weniger uch auf einer solchen schiefen Verzerrung, wobei die Plantarseite in er Richtung nach dem Talus hin, die Dorsalseite in entgegengesetzter Richtung verschoben wird. Auch ist ja die Schrägstellung vorn größer ls hinten, was nur durch Annahme innerer Torsion zu erklären ist.

Das hinterste Ende des Fersenbeines ist ja, wie bereits erwähnt urde, weniger nach innen umgelegt als das vordere. Die Valgität es Fersenbeines ist also für die Betrachtung von hinten her etwas askiert durch eine Auswärtstorsion des hintersten Fersenbeinndes, welche von Meyer wohl mit Recht auf den vertikal bleibenden Zug der Achillessehne zurückgeführt wird.

Eine weitere Deformation des Calcaneus, die (gewöhnlich erst in späteren Stadien) auftreten kann, ist eine Aufbiegung des Processus anterior gegenüber dem hinter ihm gelegenen Teil. (Sie zeigt sich z. B. deutlich an dem von Joachimsthal in Fig. 524 abgebildeten Präparat.) Sie tritt offenbar an Stelle der plantaren Einknickung im Chopart. Am Talus kann neben der Erniedrigung des Taluskörpers in den äußeren Teilen eine Horizontaldrehung der Rolle über der unteren Gelenkfläche nach innen und eine Verschiebung im ganzen nach außen vorn oder auch nach vorn innen beobachtet werden.

Sehr erhebliche Verzerrungen treten aber auch häufig am Naviculare und ganz besonders am I. Keilbein auf, indem die distale Endfläche gegenüber der proximalen und parallel derselben dorsalwärts geschoben wird. Ich habe den Eindruck, daß die Plattfüße hinsichtlich der Stellungsänderung der Skelettstücke und hinsichtlich der Knochendeformationen ein im einzelnen recht mannigfaltiges und wechselndes Bild darbieten.

Namentlich werden sich beim Kind je nach dem Alter und je nach den allfälligen rachitischen Veränderungen bei genauer Untersuchung verschiedene Formen des Plattfußes unterscheiden lassen. In dieser Hinsicht erscheinen mir die Befunde von Wassermann bemerkenswert.

R. Wassermann hat unter der Leitung von Tavel bei 500 Kindern (7 unter 6 Jahren, die übrigen zwischen 6 und 16 Jahren) in 301 Fällen die Füße normal gefunden. Weitaus die Mehrzahl der übrigen Kinder zeigten eine größere oder geringere Valgität des Fußes auf einer Seite oder auf beiden Seiten; aber nur an 53 Füßen war eine Abplattung der Fußsohle nachweisbar, und zwar bei 26 davon ohne gleichzeitige Valgität. In 280 Füßen war bloße Valgusstellung im hinteren Fußabschnitt nachweisbar. Dabei zeigte sich der Verbindungsstreifen des vorde.en und hinteren Fußabdruckfeldes mehr oder weniger einwärts verschoben und mehr oder weniger verschmälert, ja völlig unterbrochen.

Man kann wohl annehmen, daß in diesen Fällen vorn die natürliche Torsion des Fußes erhalten, der subtalare Fußteil aber nach innen umgelegt war, unter Abhebung des äußeren Fußrandes vor der Ferse. Wo aber der Kontakt der Vordersohle mit dem Boden im äußeren Teil erhalten war, konnte solches durch Senkung der äußeren Metatarsalia herbeigeführt sein. Die Ursache für die Valgität im hinteren Fußabschnitt ist eine weitergehende Pronation im unteren Sprunggelenk sie kann dadurch ermöglicht sein, daß der Exzentermechanismus sich zurückgebildet, resp. daß eine abnorme Dehnung des Lig. acetabulare etc. stattgefunden hat.

Ein übermäßiges, etwas nach innen gerichtetes Andrängen des Unterschenkels gegen den Fuß wird nach den früheren Auseinandersetzungen dazu führen, daß die subtalare Fußplatte mäßig proniert resp. nach innen umgelegt wird, und daß infolge davon vorn der innere Fußrand mehr als der äußere gegen den Boden drückt.

Wenn nun die Detorsion im Vorderfuß unterbleibt, der pränavikulare innere Fußrand nicht nachgibt und ausweicht, und auch der Talusexzenter sich wenigstens teilweise erhält, so kann die weitere Pronation bei bereits angedeuteter Valgität doch noch gehemmt werden, bevor der innere Gewölbebogen vollständig eingesunken ist. An der Sprungbeingegend bleibt dann allerdings eine abnorme Beanspruchung bestehen. Die Innenseite ist dauernd stärker auf Zug, die äußere auf Druck in Anspruch genommen; außerdem macht sich ein Abscherungsbestreben geltend. Eine solche Inanspruchnahme wird namentlich dann bestehen können, wenn die Kraftlinie des Fußwiderstandes und der vom Unterschenkel her entgegen wirkenden Kraft näher der Ferse gelegen ist. Hier kann es nun bei Anpassungsfähigkeit des Skelettmateriales zu einer sozusagen primären und totalen Knochendeformation kommen. Am Talus wird hauptsächlich eine relativ

Höhenzunahme der Innenseite gegenüber der Außenseite, in geringerem Grade auch eine Verzerrung im Sinn der Einwärtsschiebung der Rolle gegenüber dem unteren hinteren Gelenkkörper zu erwarten sein, am Calcaneus aber in erster Linie eine Verzerrung im Sinn einer Einwärtsbewegung des Processus superior gegenüber dem unteren Rand, der am Boden festgehalten ist. Durch eine derartige Umänderung der Gestalt der Skelettstücke, wie sie gewöhnlich beim Erwachsenen erst bei höheren Graden der Fußabplattung auftritt, erhält hier schon früh die Sprungbeingegend einen höheren Grad von Valgität, während doch die subtalare Fußplatte weiter vorn am Chopart und Vordertarsus nur wenig nach innen umgelegt, der Metatarsus nicht wesentlich detorquiert, die Sohlenaushöhlung nur wenig und mehr nur in ihrem hinteren Teile verflacht ist. Eine Einknickung im Chopart nach innen ist aber zu diesen Veränderungen hinzugesellt. Es erscheint mir wahrscheinlich, daß die zahlreichen von Wassermann beobachteten Fälle eines Pes valgus non planus oder Knickfußes bei Jugendlichen zum großen Teil wenigstens in dieser Weise zu deuten sind.

Es bleiben noch die wenigen von Wassermann notierten Fälle von völlig abgeplatteter Sohle ohne Valgusstellung des hinteren Fußabschnittes. Das Zustandekommen einer solchen Deformation muß allemal dann erwartet werden, wenn sich bei vorderer Belastung des Fußes mit einem übermäßigen, mehr direkt nach unten gegen die Unterstützungsfläche gerichteten Druck eine Einwärtsdrehung vom Unterschenkel her verbindet. Das sind die Fälle, in welchen das untere Ende des Talus über dem Fersenbein besonders stark nach außen drängt.

Bei nachgiebigem Skelettmaterial muß hier das Resultat vor allem eine Art Torsion im Calcaneus sein, wobei nur der vordere Teil nach innen umgelegt wird, der hintere Teil aber aufrecht bleibt. Die Einwärtsverschiebung des hinteren Teiles des Talus unterbleibt in diesem Fall; eine Valgität kommt in der hinteren Sprungbeingegend nicht zur Ausbildung. Die Sohle aber ist innen in größter Ausdehnung vom vorderen Sohlenfeld aus dem Boden angelegt.

III. Das Kniegelenk.

A. Erste Orientierung. Grundzüge des Baues und der Funktion.

Die äußere Gestalt und oberflächliche Plastik des Knies und alle Einzelheiten, denen wir bei der Präparation des Kniegelenkes vom ersten Augenblick an begegnen, stehen in so mannigfaltiger und enger Beziehung zu der Funktion des Gelenkes und zu den Stellungsänderungen in demselben, daß sie nur unter Berücksichtigung dieser Beziehungen richtig verstanden werden können. Nun lehrt uns tatsächlich schon die tägliche Beobachtung des lebenden Körpers recht vieles über die Funktion des Kniegelenkes. Wenn wir diese Kenntnisse zusammenfassen und durch die Untersuchung der Gelenkkörper am Skelett und an fertigen Bänderpräparaten erweitern, können wir uns bereits ausreichend über die wichtigsten mechanischen Verhältnisse des Kniegelenkes orientieren. So vorbereitet werden wir auch bei der Präparation jederzeit der funktionellen Bedeutung der Teile unsere volle Aufmerksamkeit zuwenden. Dem hier angedeuteten Gang des Studiums entsprechend ist die folgende Darstellung angeordnet.

Das Kniegelenk des Menschen liegt ungefähr in der Mitte der unteren Extremität, mitten zwischen Fuß und Hüftgelenk. Ähnlich wie das Ellbogengelenk bei der oberen, so gestattet das Kniegelenk bei der unteren Extremität jeden Grad der Einknickung und der Zusammenlegung der beiden Hälften. Sie kann so weit gehen, daß die Wade die Hinterseite des Oberschenkels und die Ferse das Gesäß berührt.

Die Beugung und Streckung des Beins geschieht dabei wesentlich nur in einer einzigen bestimmten Längsebene, indem, gleichsam im Interesse der Sicherheit und Ausgiebigkeit dieser einen Bewegung, auf ähnliche Bewegungen in anderen Längsebenen verzichtet ist. Mit ähnlichem Vorteil geschieht in der Hauptebene der Bewegung die Beugung von der Streckstellung aus nur nach einer Seite hin. Jeder anderen Einknickung des Beins im Kniegelenk wird starker passiver Widerstand durch Knochenhemmung und Bänderspannung entgegengesetzt. Auch sind die Muskeln, welche das Kniegelenk überspringen, im wesentlichen auf die Beuge- und Streckseite zusammengedrängt. Sie überspringen das Kniegelenk nur mit Endsehnen oder Ursprungssehnen und allenfalls mit den Enden oder Anfangsteilen ihrer Fleischbäuche, während die Hauptmassen der letzteren am Oberschenkel oder am Unterschenkel untergebracht sind. Die Ober- und Unterschenkelmuskeln greifen daher

m Kniegelenk nur wenig ineinander, erstere enden unmittelbar unter-alb des Gelenkes, letztere entspringen unmittelbar oberhalb. Beim Menschen gehen an der Streckseite des Gelenkes gar keine Unterschenkel-uskeln bis zum Femur hinauf.

Ein solches Verhalten ermöglicht, daß die Muskeln auch ohne die Hilfe starker, zusammenhaltender Faszien und Retinacula dem Gelenk ei der Beugung angeschlossen bleiben. Andererseits ergeben sich daraus ngere Beziehungen der End- und Ursprungssehnen zur Gelenkkapsel vgl. Allgemeiner Teil S. 105).

Welch große Bedeutung der Beugung und Streckung im Kniegelenk nd der bedienenden Muskulatur zukommt, braucht wohl nur angedeutet t werden. Die Beugung im Kniegelenk zusammen mit begleitenden ewegungen im Hüft- und Fußgelenk ermöglicht es, daß der Rumpf em aufgesetzten Fuß und dem Boden genähert werden kann, und war je nach der Anspannung der Streckmuskeln mit fast beliebig ver-ngsamter Geschwindigkeit. Die Anspannung der Streckmuskeln chert die Feststellung des Kniegelenkes bei beliebiger Beugestellung. hre positive Arbeitsleistung bei der Streckung des Kniegelenkes hat den ichtigsten Anteil an der Emporbewegung des Körpers. Die Beugung es Kniegelenkes am entlasteten Bein aber ermöglicht dessen Abhebung om Boden und beliebige Weiterführung. So spielt die Beugung und treckung des Kniegelenkes eine wichtige Rolle beim Gang, Lauf und sprung, beim sich Niederlassen und Erheben des Körpers usw.

Außer der Beugung und Streckung ist nun aber, wenigstens am ebeugten Kniegelenk noch eine Nebenbewegung möglich, nämlich ine Längsrotation des Unterschenkels von beschränktem Umfang. Dieselbe ist von Nutzen für die freiere Beweglichkeit und Umstellbarkeit es vom Boden abgehobenen Fußes. Von fast noch größerer Bedeutung ber ist sie für die seitliche Bewegung des Rumpfes an dem mit tief-ebeugten Knien am Boden hockenden oder kauernden Körper. Hier ind die Unterschenkel festgestellt, die entsprechende Bewegung im Kniegelenk besteht dann in einer Art von Kurbeldrehung der Femora m die Längsachsen der Unterschenkel, wodurch der Rumpf mit den Hüften nach der einen oder anderen Seite bewegt werden kann. Bei venig gebeugtem Knie aber handelt es sich mehr um eine Links- oder Rechtsdrehung (Längsrotation) des Rumpfes und des Oberschenkels ber dem am Boden festgestellten Fuß und Unterschenkel. Es ist klar, daß das Kniegelenk, indem es Beugung und Streckung des Beins uläßt, im wesentlichen einen Ginglymus darstellt, d. h. ein Gelenk, dessen Drehungsachse quer zur Längsachse der in ihm verbundenen Glieder gestellt ist. Insofern aber im gleichen Gelenk eine Rad- oder Zapfendrehung des Unterschenkels um seine Längsachse gegenüber dem Oberschenkel stattfinden kann, sind an ihm auch (unter gewissen Be-dingungen) die Verhältnisse eines Rad- oder Trochoidgelenkes ver-wirklicht. Man hat deshalb mit Recht das Kniegelenk als einen „Trocho-ginglymus" bezeichnet. Daß die beiden Bewegungen nicht bloß ge-trennt voneinander, sondern auch in beliebiger Kombination miteinander ausgeführt werden können, eine Beugung oder Streckung also bei ge-

eigneter Krafteinwirkung in wechselnder Weise mit Längsrotation des Unterschenkels verbunden sein kann, liegt auf der Hand; wir können uns davon auch an uns selbst überzeugen. Eine andere Frage ist, ob und wie bei den typischen Beuge- und Streckbewegungen, beim Gang, beim Steigen, beim sich Niederlassen in die Kniebeuge etc. derartige Kombinationen tatsächlich realisiert werden.

Bei der anatomischen Untersuchung des Gelenkes sollen vor allem die für die Funktion besonders wichtigen und maßgebenenden Verhältnisse festgestellt werden. Wir halten uns dabei zunächst an das, was sich am Skelett und an fertigen Bänderpräparaten des Kniegelenkes erkennen läßt. Als Hilfspräparate für die erste Orientierung sind vor allem dienlich:

1. Ein feuchtes Präparat mit gut auspräparierten Bändern. Die dünnen und weichen Stellen der Kapsel müssen erhalten sein, ebenso die mit der Kapsel verbundenen Muskel- resp. Sehnenenden.
2. Ein ähnliches Präparat, an dem die vordere Kapselwand oben und seitlich durchgeschnitten und nach vorn umgeklappt ist.
3. Ein Präparat, an welchem außerdem die seitliche und hintere Kapselwand bis auf die Kreuzbänder quer durchschnitten ist.
4. Ein Bänderpräparat, an welchem die dünnen und weichen Stellen entfernt sind.
5. Das obere Ende der Tibia mit den Menisci.

Der obere Gelenkkörper des Kniegelenkes wird vom Femur gebildet.

Von den beiden Unterschenkelknochen steht nur die Tibia mit dem Femur in gelenkigem Kontakt. Die Fibula zieht sich im Laufe der embryonalen Entwicklung vom Femur zurück und behält nur dadurch eine Beziehung zum Gelenk, daß sich an ihrem Köpfchen das laterale Seitenband anheftet. Die Tibia allein vermittelt die Druckübertragungen vom Unterschenkel auf den Oberschenkel (Femur) und umgekehrt.

Die Gestalt des unteren Endes des Femur und des oberen Endes der Tibia ist bereits in ihren Grundzügen besprochen worden (S. 7, 10, 156 und ff.). Dem Gesagten ist hier noch einiges beizufügen. Das Kniegelenk ist vor allem dadurch ausgezeichnet, daß die Berührung und gleitende Verschiebung zwischen Femur und Tibia in zwei voneinander getrennten, seitlichen Feldern stattfindet, entsprechend einer unvollkommenen Sonderung des Gelenkes in zwei nebeneinander liegende Teile. Die untere Endverdickung des Femur, welche namentlich nach hinten ausladet, hat mehr oder weniger die Gestalt einer Rolle; sie ist im vorderen und unteren Umfang nur oberflächlich durch die seichte Patellarrinne, an der hinteren Ausladung aber durch einen tiefen Einschnitt (Incisura intercondyloidea) in zwei Gelenkknorren oder Kondylen getrennt. Den Kondylen stehen zwei seitliche Felder der oberen Tibiaendfläche mit ihrer Bepolsterung gegenüber.

Die Kondylenflächen der Tibia bilden mit ihrer mächtigen Bepolsterung zwei Pfannen, welche sich in ihrer Gestalt den aufliegenden Kondylenflächen des Femur einigermaßen anpassen und bei der Streckung sowohl, als bei der Beugung in breiterer Berührung mit ihnen stehen. Das hierbei sich verschiebende, von der Tibia teilweise abgespaltene Polster wird an jeder Pfanne gebildet durch einen faserknorpligen

faserfilzigen) Randteil, den Meniscus oder Sichelknorpel (C-Knorpel, R. Fick).

Die Menisci laufen den äußeren und inneren Rand der tibialen Endfläche entlang und biegen sich vorn und hinten gegeneinander. Ihre Enden sind fest mit der Tibia verbunden, die übrigen Teile aber von ihr abgespalten und nur oberhalb des Spaltes mit der Kapsel verwachsen. Die Enden des lateralen Meniscus sind stärker zusammengebogen und inserieren in der Area intercondyloidea dicht vor und hinter einer Eminentia intercondyloidea. Der mediale Meniscus erreicht nur hinten die Area intercondyloidea, vorn aber heftet er sich an der vordersten Peripherie der medialen Kondylenfläche an. Der messer-

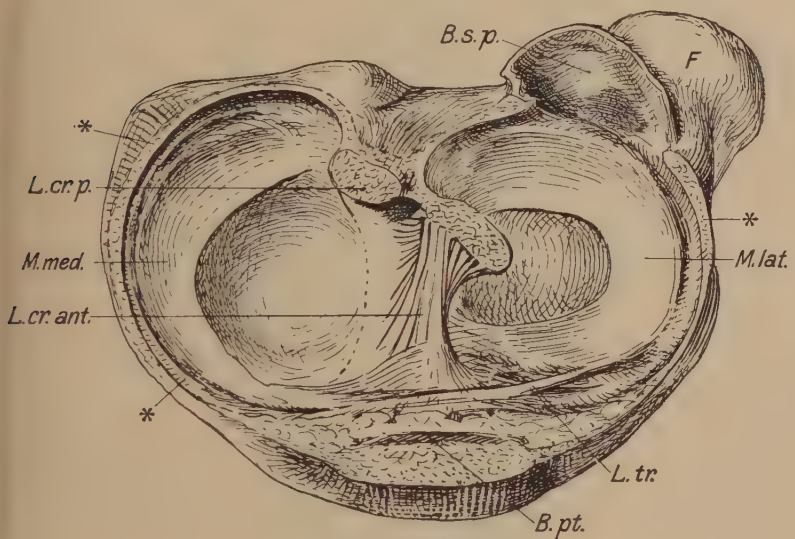


Fig. 119.

scharfe Rand der Keilknorpel ist jederseits der Mitte der Pfanne zugewendet; der Rücken des Keils entspricht dem Rand der Pfanne. Der Spalt unter jedem Meniscus ist ein unterer Nebenspalt der Gelenkhöhle.

Am Femur steht der vordere einheitliche Teil der Endfläche niemals mit der Tibia und den Menisci in Kontakt. Die vordere Grenze, bis zu welcher die Kondylen beiderseits bei stärkster Streckung des Kniegelenkes in die Pfannen des Unterschenkels einrücken, ist mehr oder weniger deutlich durch seichte Eindrücke, die sog. Impressiones terminales markiert. Bei der Beugung schieben sich die Grenzen des Kontaktes an den Femurkondylen nach hinten; die genannten Grenzmarken rücken an der vorderen Kapselwand in die Höhe und geraten zuletzt mit ihren mittleren Teilen in Kontakt mit der Hinterseite der

in die vordere Kapselwand eingeschalteten Kniescheibe. Bemerkenswert ist die Konvergenz der Seitenflächen des unteren Femurendes nach vorn.

Die Verschmälerung der Femurrolle beginnt schon vorn an demjenigen Teil der Gelenkfläche, welcher bei der Streckung den Tibiakondylen gegenübersteht. Hier sieht man die Randkanten der Gelenkfläche unter besonders deutlicher Abbiegung der medialen einander nach vorn zu rasch nähertreten. Die flache, rinnenförmige Einsenkung der

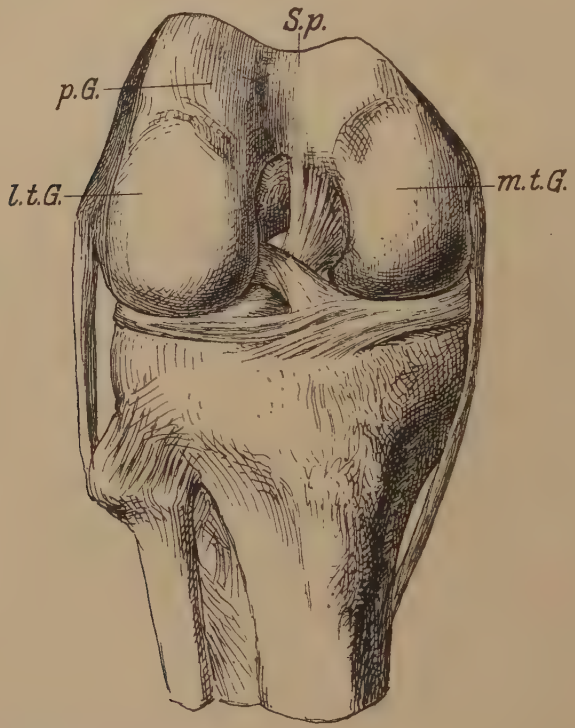


Fig. 120. R. Kniegelenk in Beugestellung, von vorn eröffnet. *S. p.* Sulcus patellaris, *p. G.* patellare Gelenkfläche des Femur, *l. t. G* und *m. t. G.* tibiale Gelenkflächen des Femur für den lateralen und medialen Condylus tibiae.

Gelenkfläche vor der Incisura intercondyloidea nimmt nach vorn resp. oben hin immer mehr die ganze Breite der Endfläche ein. Die mediale Wange der Rinne nimmt dabei in ihrer Höhe und Breite weniger ab, als die laterale. Diese Rinne (Patellarrinne) entspricht ungefähr dem Gebiet, an welchem die Patella bei der Beugung und Streckung des Knies auf- und abgleitet. Doch steht dabei die Kniescheibe kaum jemals mit ihrer ganzen hinteren überknorpelten Fläche gleichzeitig Kontakt mit dem Femur (s. Figg. 123 u. 126).

Der Bequemlichkeit halber kann man wohl gelegentlich einmal
einem femoro-patellaren Gelenk und von einem medialen und
ralen Tibio-Femoralgelenk sprechen. Man muß sich aber dabei klar
, daß es sich nur um Teilzonen des Kniegelenkes handelt, die jede
sich kein ganzes Gelenk im anatomischen und noch weniger im
ktionellen Sinne darstellen. Bei Tieren erlangt gelegentlich das
noro-Patellargelenk eine etwas größere anatomische Selbständigkeit.

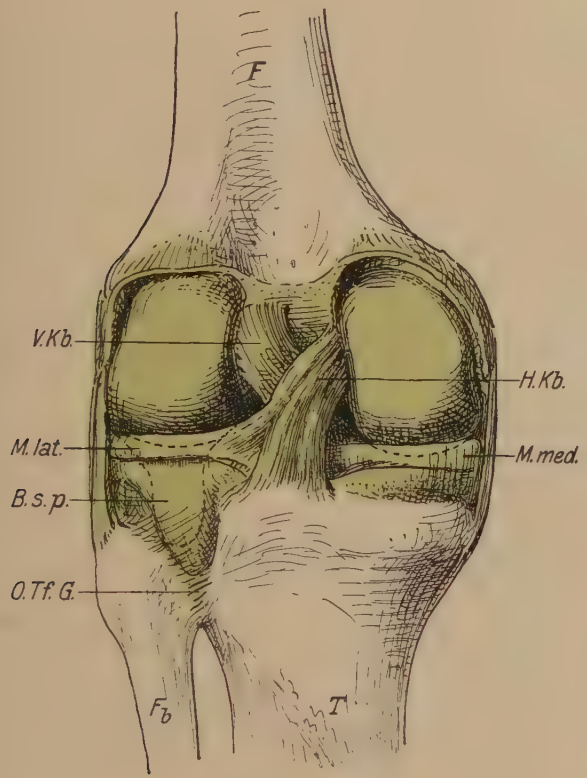


Fig. 121.

Das Kniegelenk kann, wie gesagt, entsprechend der in ihm statt-
denden Hauptbewegung der Beugung und Streckung als ein Gin-
mus bezeichnet werden. Ein Blick auf die Gestalt der Gelenkflächen
rt aber, daß von einem kongruenten Gleiten nicht die Rede sein
n. Der Umfang der beiden Femurkondylen gleicht bei seitlicher
rachtung etwa einer mit dem längeren Durchmesser horizontal ge-
llten Ellipse; die untere und hintere Kontur ist auch mit einer ein-
ollten Spirale verglichen worden. Die Krümmung der patellaren
enkfläche des Femur ist flacher als diejenige der tibialen Gelenk-

flächen. Es muß sich also jedenfalls die Patella gegenüber dem Femur nach einem etwas anderen Gesetz bewegen als die Tibia. Die Grenzen des mittleren Feldes, an welchen die Patella mit den benachbarten Teilen der Kapsel und der suprapatellaren Strecksehne gleitet, reichen hinten seitlich noch etwas in die Gebiete der beiden tibialen Felder, welche mit der Tibia und den Menisci in Berührung kommen, hinein. Mit anderen Worten, die Patella und die seitlich anschließenden Teile der Kapsel erreichen bei stärkster Beugung gerade noch die Stellen der Gelenkfläche, welche bei stärkster Streckung mit der Tibia und ihrer Bepolsterung in Berührung kommen. Die Fig. 120 zeigt die sich überschneidenden Grenzen der drei Felder.

Aber auch die tibialen Felder der Femurgelenkfläche für sich allein weichen erheblich in ihrer Krümmung von derjenigen einer Rotationsfläche ab, indem überall in den Ebenen der Beugung und Streckung die Profile hinten stärker gekrümmt sind als vorn. Die Krümmungshalbmesser sind in den hinteren Teilen der Profile kleiner als in den vorderen.

Entsprechend dem Ginglymuscharakter des Gelenkes ist die Kapsel des Kniegelenkes auf beiden Seiten straff und durch kollaterale Fixationsbänder kompliziert, während sie an der Beuge- und Streckseite Annäherung und Entfernung der Knochen gegen- und voneinander gestattet, bei der Annäherung sich spannt und bei der Entfernung sich faltet.

Wenn wir nun auch annehmen dürfen, daß im großen und ganzen von später zu besprechenden Modifikationen abgesehen, die Tibia bei der Streckung und Beugung auf der Hauptkrümmung der tibialen Felder des Femur von hinten nach vorn, resp. von vorn nach hinten gleitet und sich dabei jederzeit um eine durch das Femurende annähernd quer von einer Seite zur anderen verlaufende Achse dreht, so ist doch klar, daß diese Achse wegen der Abänderung der Hauptkrümmung der Femurkondylen ihre Lage im Femur und auch gegenüber der Tibia ändern muß. Die seitlichen Verstärkungsbänder der Kapsel können als unmöglich so am Femur angeheftet sein, daß sie jederzeit gleichmäßig gespannt sind. Wir überzeugen uns leicht am Bänderpräparat, daß sie bei der Streckstellung gespannt sind und bei der Beugung mehr oder weniger erschlaffen.

Das Kniegelenk ist weiter dadurch in besonderer Weise ausgezeichnet, daß an ihm gleichsam ein Versuch zur Zerlegung in zwei getrennte Gelenke unvollständig durchgeführt ist. Die Gelenkfläche für die Bewegung zwischen Femur und Tibia sind tatsächlich an beiden Skelettstücken je doppelt, als laterales und mediales Kondylenfeld vorhanden; die beiden femoralen Kondylenfelder sind nur durch das mittlere in beide hineingreifende Gelenkfeld für die Patella miteinander vereinigt. Die Gelenkhöhle ist allerdings einheitlich und einfach; aber auch an ihr ist ein deutlicher Ansatz zu einer Sonderung vorhanden, indem von der hinteren Kapselwand aus eine Weichteilmasse pfeilerartig in die Gelenkhöhle vorspringt. Sie schneidet gleichsam von hinten her zwischen die beiden Kondylenwülste ein und trennt sie voneinander

re Anheftung erstreckt sich am Femur bis zur mittleren Kommissur
Gelenkfläche und an der Tibia bis zum vorderen Ende der Area
ercondyloidea. Der vordere Rand ist mitunter zu einer dünnen
novialfalte ausgezogen oder brückt als ein zarter Zipfel (Lig. mucosum)
derselben frei zur vorderen Kapselwand unter der Kniescheibe
über. Der wichtigste Bestandteil dieser unvollständigen interarti-
lären Scheidewand sind die beiden starken Kreuzbänder (Figg. 119
121), von denen das eine wegen seiner Anheftung am lateralen
murkondylus als das la-
ale und wegen der An-
ftung vor der Eminentia
ercondyloidea der Tibia
das vordere, das andere
er wegen der Anheftung
medialen Femurcondylus
das mediale und wegen
r Anheftung hinten an der
minentia intercondyloidea
das hintere Kreuzband
zeichnet wird. Diese Kreuz-
nder stellen einen außer-
dentlich wichtigen Bestand-
il des Bandapparates des
niegelenkes dar. Man er-
nnt leicht am Bänderprä-
rat, daß sie in der Beuge-
ellung trotz der Erschlaf-
ng der Seitenbänder Tibia
nd Femur gegeneinander
xiert halten. Dabei gestatten
ebensowohl die Beuge-
nd Streckbewegung als in
ittleren Beugestellungen die
rehung des Unterschenkels
n seine Längsachse.

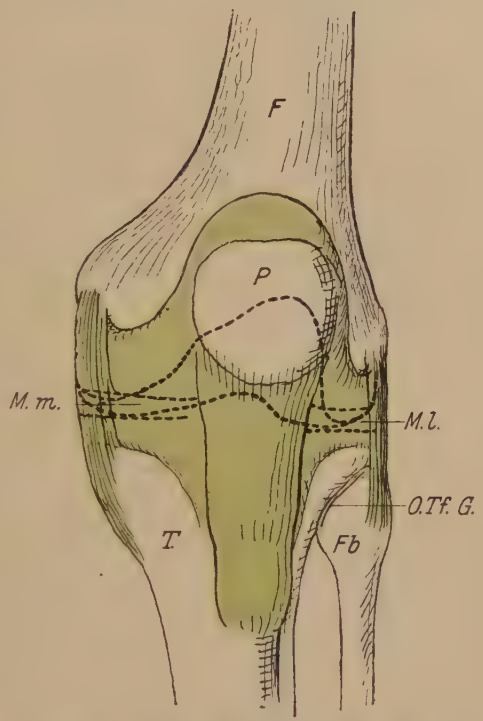


Fig. 122. Linkes Kniegelenk von vorn mit Kapsel. *F* Femur, *P* Patella, *T* Tibia, *Fb* Fibula, *O. Tf. G* oberes Tibiofibulargelenk, *M. m.* und *M. l.* Meniscus med. und Meniscus lat.

An der vorderen Kapsel-
and ist besonders auffällig
e schon erwähnte Ver-
hmelzung mit der Streck-
ehne des Quadriceps
emoris und die Einschaltung der Kniescheibe in diese Strecksehne
n oberen Teil ihrer Vereinigung mit der Kapsel. Der unterhalb der
niescheibe gelegene Teil der Strecksehne wird dadurch gleichsam zu
nem Band, welches die Kniescheibe mit der Tibia verbindet und als
nteres Kniescheibenband (Lig. patellare inferius) bezeichnet
ird. Auch mit der hinteren Kapselwand treten Muskelsehnen in engere
erbindung.

Indem die Kniescheibe und das untere Kniescheibenband mit anderen

seitlich sich anschließenden sehnigen Fasern sich mehr oder weniger gestreckt über die vordere Peripherie des unteren Femurendes zur vorderen Peripherie des oberen Endes der Tibia hinüberspannen, bleibt zwischen ihnen und den beiden Gelenkenden vor der Stelle, wo sie sich in den Kondylen berühren, bis zu der von hinten zwischen die Kondylen einragenden Weichteilmasse hin ein mehr oder weniger weit klaffender, bei den Bewegungen im Gelenk seine Gestalt verändernder Raum. Dieser wird durch ein in seiner Form veränderliches, mächtiges Fettpolster ausgefüllt, das von der vorderen Kapselwand aus, unterhalb der Patella in die Gelenkhöhle einragt (Plica adiposa).

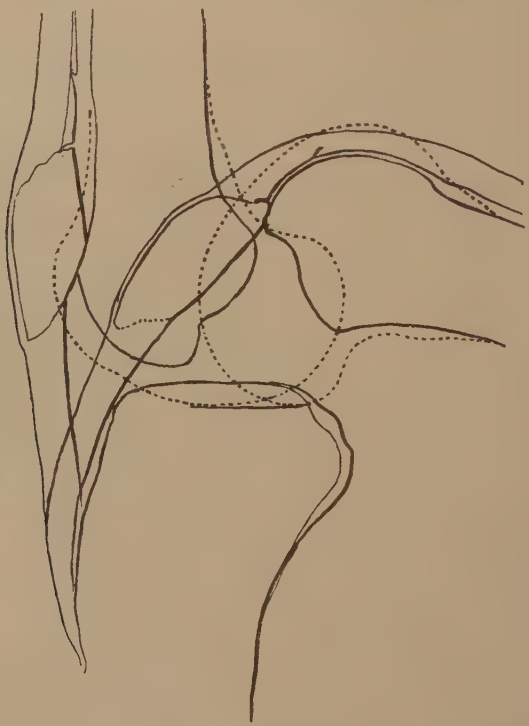


Fig. 123.

Bei der Beugung und Streckung gleitet, wie gesagt, die Patella in der seichten Rinne (Sulcus patellaris), welche am unpaaren Teil der Gelenkfläche deutlich ist, aufwärts und abwärts. Die Gesamtexkursion beträgt ca. 5 cm. Bei der Beugung rückt sie gegen die Inzisur und sinkt in die nach ihr hin sich vertiefende Patellarrinne tiefer ein, läßt aber wegen der Verbreiterung der Rinne deren seitlichen Randteile mehr und mehr unbedeckt. Bei der Streckung rückt die Kniescheibe vorn in die Höhe, bedeckt mehr und mehr das sich verschmälernde patellare Gelenkfeld

ganzer Breite und überragt es zuletzt oben und außen. Sie zeigt
ı ihrer Rückseite eine gerundete Längsfirst, welche zwei seitliche
facetten trennt. Der Länge nach ist aber die freie Rückseite nicht
stark konkav, als der Krümmung des Sulcus patellaris entspricht;
t fehlt eine hintere Längskonkavität vollkommen oder sie macht im
nteren Teil sogar einer flachen vorspringenden Längswölbung Platz.
ie Patella liegt der Femurgelenkfläche in der Streckstellung nur in
nem schmalen, unter der Mitte der hinteren freien Fläche befindlichen
uerstreifen (flache Querfirst) an, auf demselben pivotierend. Bei
irkster Streckung und Anspannung des Quadriceps kommt diese First
erhalb der stärksten Vorragung des Sulcus patellaris zu liegen. Bei
r Beugung legt sich das obere Feld der freien Patellargelenkfläche
it breiterer Berührung in den Sulcus patellaris. Bei starker Beugung
mt sich die Patella nur mit ihrem oberen Rand an das Femur; in
r Mitte erreicht dieser Rand zuletzt die hintere Grenze des Sulcus
tellaris resp. den Anfang der Incisura intercondyloidea (Fig. 123).

Schon Lionardo da Vinci wußte, daß die Kniegegend bei der Beugung
maler wird (Trattato della pittura). Gemeint ist offenbar der Durchmesser
n der Oberfläche der Kniescheibe zur Kniekehle. Bei der Streckstellung liegen
Kondylen mit ihrem großen, bei der Beugestellung mit ihrem kleinen sagittalen
rchmesser zwischen der Kniescheibe und der Kniekehle.

B. Legende zur Präparation des Kniegelenkes.

α) Vorderseite.

1. Präpatellare Schleimbeutel und Faszie.

Bei der Präparation des Knies von vorn begegnet man unmittelbar
nter der Haut den präpatellaren Schleimbeuteln (Fig. 126). Sie
rdanken ihre Entstehung der Verschiebung zwischen dem Skelett
Patella) einerseits und der gegen den Boden gedrückten, durch den
eibungswiderstand festgehaltenen Haut, beim Knien und Herum-
tschen auf den Knien. Sie sind dementsprechend je nach Alter und
eruf verschieden entwickelt. Man unterscheidet suprafasziale, sub-
sziale und subtendinöse Spalten, die oft alle zugleich miteinander vor-
nden sein können und dann meist miteinander kommunizieren. Auch
annähernd derselben Tiefe können mehrere, meist miteinander kom-
unizierende Spalten vorhanden sein. Oft sind nur schmale trennende
rücken zu finden. Besonders konstant, groß und kompliziert ist die
ursa subcutanea. Von subfaszialen und subtendinösen Spalten kann
an reden, insofern als sowohl von der Faszie wie von der Quadriceps-
hne aus sehnige Fasern vor die Patella ausstrahlen. Es fehlt hier
ı regelmäßiges, mit Fett gefülltes Fachwerk von Bindegewebszügen
ischen Skelettunterlage (Faszie) und Haut, wie es etwa beim Fersen-
lster vorhanden ist.

Die Faszie des Oberschenkels strahlt allerdings, soweit sie nicht mit den Seitenbändern der vorderen Kapselwand neben der Kniescheibe, mit dieser selbst und mit der Quadricepssehne verwächst, durch das vor diesen Teilen gelegene Zellgewebe zur Haut, aber mehr in Form von flach aufgelegten Blättern, zwischen denen die Bedingungen für Fetteinlagerung wenig günstig sind.

Die Verbindung der Faszie mit der vorderen Kapselwand läßt, ebenso wie das bei den Strecksehnen der Fall ist, einen proximalen Teil der Kapsel frei. Sie verschmilzt mit der Kapsel von einer Linie an, welche vom oberen Teil der Kniescheibe jederseits im Bogen schräg zu den Epikondylen absteigt. Sie heftet sich schon oberhalb der Kniescheibe an der Quadricepssehne fest und verbindet sich andererseits hinter den Vasti, über den Epikondylen in zwei Pfeilern, den Ligg. intermuscularia, direkt mit dem Femur. Unmittelbar vorn am Lig. intermusc. laterale, also vor dem Epicondylus lat. vorbei, zieht sie in besonderer Stärke als Maissiatscher Streifen (Tractus ileo-tibialis) zum Tuberculum ileo-tibiale herab.

Nach R. Fick findet sich die Bursa mucosa praepatellaris subcutanea in 88, die B. p. subfascialis in 95 und die B. p. subtendinea in 80 % der Fälle beim Erwachsenen.

Während Bursae praepatellares fast stets beim Erwachsenen gefunden werden, ist die vor dem Lig. patellare inferius gelegene Bursa infrapatellaris subcutanea ganz inkonstant. Wo vorhanden, kann sie bis vor die Tuberositas tibiae herabreichen resp. mit einem selbständigen Schleimbeutel vor dieser Stelle vergesellschaftet sein.

2. Quadriceps, Patella und Lig. patellaria. Sehnenkappe.

Die Patella bildet sich in der vorderen Kapselwand an der Stelle, wo die in die vordere Kapselwand eingelassene Strecksehne, die sich bei gebeugtem Knie über das untere Ende des Femur wie über eine Rolle biegt, die stärkste Druckeinwirkung erfährt; sie kann sich nicht als starres Anhängsel der Pfanne mit der Tibia in starre Verbindung setzen, wie solches zwischen Olekranon und Ulna der Fall ist, weil sie mit dem zwischen ihr und der Tibia gelegenen Endteil der Strecksehne wegen der von einer Rotationsfläche abweichenden Gestalt der Femurendfläche ihre Stellung zur Tibia ändern muß. Der stärkste Faserstrang, der von ihr zur Tuberositas (Spina) tibiae am unteren Ende des dreieckigen Vorderfeldes des oberen Tibiaendes geht, wird als Lig. patellae inferius (s. proprium) bezeichnet. Man kann in diesem Band die Hauptfortsetzung der Quadricepssehne erblicken. Einzelne Sehnenfaserzüge der Quadricepssehne gehen an der Vorderseite und an den Seitenrändern der Patella direkt vorbei, kreuzen sich zum Teil vor der Patella, strahlen über sie hinaus und vereinigen sich mit Fasern der anderen Seite, welche daselbst dem Patellarrand entlang herunterziehen. So bildet sich jederseits neben dem Lig. patellare inferius eine abwärts sich verbreiternde, gegen den Seitenrand des dreieckigen Vorderfeldes der Tibia und bis zum Lig. collaterale ausstrahlende sehnige Schicht (Ligg. patellaria accessoria [mediale und laterale]. Diese Faserlagen werden nicht bloß durch den Zug des Streckmuskels,

ıdern auch durch die bei seitlichen Verschiebungen der Patella und der Beugung sich vordrängenden Randkanten der Kondylen ge-ınnt, so daß sie die Bedeutung von Haltbändern (Retinacula) der tella haben.

Mit den drei Kniescheibenbändern verbindet sich nun also auch ·h die von oben kommende, über die Vorderseite des Knies herab-ıende Fortsetzung der Fascia lata des Oberschenkels. So entsteht e nach unten verbreiterte, zuletzt an die Seitenbänder sich an-ließende sehnige Kappe, deren stärkster mittlerer Teil durch das :. patellare gebildet wird, und in welche oben die Patella eingeschaltet

Naturgemäß (s. Allgemeiner Teil S. 105) muß oberhalb dieses : der Streckmuskulatur verbundenen starken Teiles der vorderen pselwand noch ein proximaler dünner, faltbarer Teil der ·psel vorhanden sein, der nur oberhalb der überknorpelten Gelenk-:he des Femur sich ansetzen kann und bei der Streckung nach oben, der Beugung nach unten geschlagen wird.

Die genannte Sehnenkappe mit der Patella und der Quadriceps-ne ist fast stets mehr oder weniger gespannt und brückt infolge-sen auf kürzestem Wege von dem Seitenrand der Kniescheibe und unteren Kniescheibenbandes zu den benachbarten Randkanten der nurrolle und der Tibiaendfläche hinüber.

Jene beiden dreieckigen Felder, zwischen dem mittleren Strang vorderen Kapselwand und den vorderen Randkanten des Femur l der Tibia wollen wir als die Dreieckfelder der vorderen Kapsel-nd bezeichnen. Sie sind klein bei der Streckung und vergrößern ı bei der Beugung (s. Fig. 124 und 125). Sie wölben sich in der Beuge-llung bei einem Erguß im Gelenk stärker vor. Man fühlt dann deut-ıer, wie bei dem Druck auf das eine Feld das andere vorgetrieben wird.

Die untere Grenze des Muskelfleisches des Quadriceps gibt in der reckstellung ein charakteristisches Bild. Der Vastus medialis reicht nahe an die obere mediale Ecke der Kniescheibe. Der Bauch des ctus bleibt am weitesten von der Kniescheibe entfernt (Fig. 124).

Lageveränderungen der Kniescheibe und des Quadriceps bei der Bewegung im Gelenk.

Die Patella überragt bei gestrecktem Knie und angespanntem adriceps die Gelenkfläche des Femur nach oben; ihr unteres Ende gt nur wenig tiefer als die untere Peripherie der Femurkondylen. ıe stärkere (aktive) Spannung des Quadriceps ist immer vorhanden, ın an dem betreffenden Gelenk die vom Oberstück her gegen den terschenkel wirkenden Anteile der auf das Oberstück einwirkenden Beren Kräfte des ganzen Körpers (z. B. der Schwere) eine Resul-rende haben, welche hinter der Drehungsachse des Gelenkes vorbei-t. Liegt ihre Kraftlinie aber vor der Drehungsachse, so kann die tstellung des Gelenkes durch bloße Skelettwiderstände, nämlich durch Spannung der hinteren Gelenkbänder und einen vorn im Gelenk ebenen Druckwiderstand zustande gebracht sein, ohne daß eine An-

spannung des Quadriceps nötig ist. In diesem Falle sinkt die Knie scheibe nach unten, bis sie durch den Widerstand der an der Tibia ge stauten Sehnenkappe und des infrapatellaren Fettpolsters aufgehalten wird Der erschlaffte Quadriceps aber kann relativ noch etwas weiter sinken Zuletzt staut sich der M. vastus medialis (oft auch in ähnlicher Weis die absinkende Haut und suprapatellare Fettmasse) an der Kniescheib unter Bildung eines suprapatel laren Wulstes, der nicht an alle Kunstwerken richtig und unte den richtigen Bedingungen zu Darstellung gebracht ist.

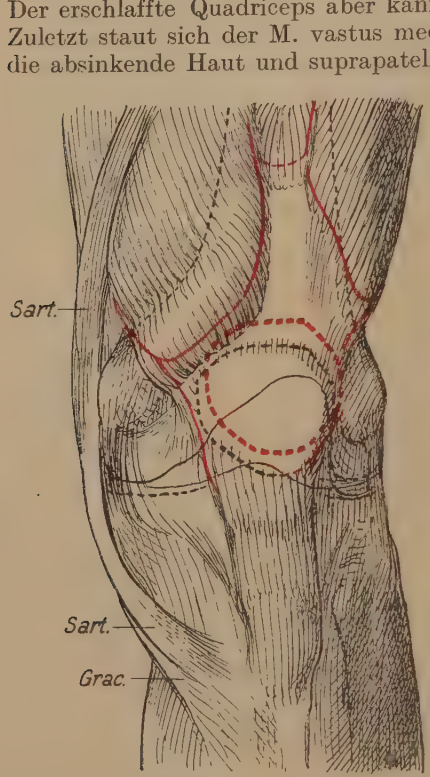


Fig. 124. Linkes Kniegelenk mit den Muskeln von vorn bei schlaffem Quadriceps (Schwarzzeichnung) und bei angespanntem Quadriceps (rote Konturen).

Das obere Ende des Sulcu patellaris des Femur steht be gleich weit rückwärts ragende Femurkondylen ziemlich genau über der Mitte der Incisura in tercondyloidea, näher der In nenfläche des unteren Gelenk endes des Femur; dabei ist de Sulcus wie die Außenfläche de Femurendes annähernd sagitta orientiert, während die Innen fläche mehr schräg nach vor und innen gewendet ist.

Die Tuberositas tibiae abe befindet sich nicht genau in de Ebene, welche die Fossa inter condyloidea des Femurendes un die Area intercondyloidea de Tibia halbiert, sondern um ihr ganze Breite nach außen davon obschon sich das obere Gelenk ende der Tibia durch gleich starke Unterschneidung an de medialen und lateralen Seit zum Tibiaschaft verjüngt, wei sie mit der anschließenden vorderen Kante des Tibiamittelstückes zwi schen einer direkt nach außen und einer nach innen gewendeten Seit des Mittelstückes und direkt nach vorn von der lateralen Hinterkant gelegen ist (s. Fig. 73). Die Tuberositas tibiae liegt also ganz deutlic lateral vom oberen Ende des Sulcus patellaris, insbesondere nach voll zogener Schlußrotation im Kniegelenk (Auswärtsrotation des Unter schenkels) in der Streckstellung.

Insofern die Kniescheibe genau mitten im Sulcus patellaris ruht ergibt sich daraus ein schräg auswärts absteigender Verlauf de Lig. patellare inferius (s. Fig. 124 und 125). Die Schrägstellun wird etwas vermindert bei angespanntem Quadriceps, indem hier di Patella etwas nach außen gegenüber der lateralen Wange des Sulcu

schoben wird, so daß sie über dieselbe mit ihrem lateralen Rand steht.

Das Andrängen nach außen erklärt sich aus der Abknickung des umentum patellae inf. gegenüber der Zugrichtung des Quadriceps, che der Richtung des Mittelstückes des Femur mehr oder weniger allel geht.

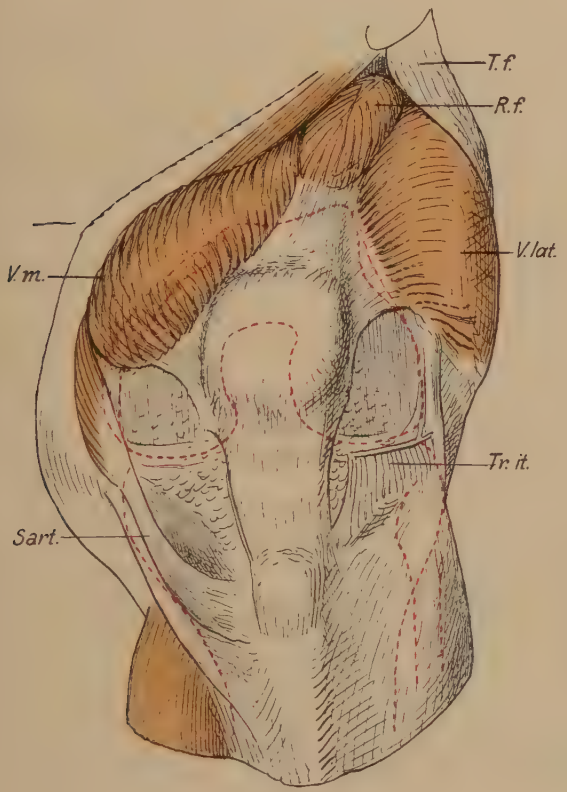


Fig. 125.

Wir geben in Fig. 125 die Vorderansicht des Kniegelenkes mit en Muskeln in der Beugestellung. Bei aufrechtem Unterschenkel sieht r die untere Endfläche des Femur nach vorn. Bemerkenswert ist Verbreiterung der Dreieckfelder. Die äußere Randkante des Femur- es ist bis nahe an das Ende des Vastus lateralis gelangt, die innere ndkante aber liegt hinter dem Ende des Vastus medialis, so daß teres über diese Kante hinüberbiegt und durch sie stark kissen- g emporgewölbt erscheint. Lig. patellare inferius und Kniescheibe l nach hinten zurückgelegt.

Präparation.

Um nach der Präparation der vorderen Kapselwand und des unteren Ende des Quadriceps die Art der Verschiebung dieses Muskels und der Patella bei de Beugung und Streckung, sowie bei den Längsrotationen des Unterschenkels gu verfolgen zu können, ist es notwendig, die das Kniegelenk überspringenden Muskeh durchzuschneiden. Beim Quadriceps durchschneidet man den Rectus quer ober halb seiner Vereinigung mit den Vasti, den Vastus medialis aber am besten ent sprechend der Mitte seiner Fleischfasern zwischen Mitten seiner Ursprungs- und Endsehne. Man gelangt so von innen her zu den Ursprüngen des Vastus inter medius, säubert sie und präpariert namentlich auch sorgfältig die untersten, ab gelösten Faserbündel dieses Muskels, die als Mm. subcrurales zum vorderen Schenkel und Umschlagsteil der in der Streckstellung gebildeten Falte der dünnen proximalen Kapselwand ziehen.

Letztere wird zunächst von innen, dann nach Durchschneidung des Vastus lateralis auch von außen her gesäubert. Ihre nach oben ausgebogene Ursprungslinie am Femur wird scharf herausgesetzt. Nachdem das Verhalten dieses dünnen Kapselteils bei der Beugung und Streckung studiert ist, kann er durchschnitten und kann die vordere Kapselwand nach vorn umgeklappt werden. Untersuchung der Verhältnisse der Bursa synovialis subcruralis, der Rückseite der Patella und des seitlich und unten angrenzenden inneren Fettpolsters der vorderen Kapselwand. Einblick auf die Gelenkflächen des Femur, die Menisci der Tibia, auf das Lig. mucosum und auf die Kreuzbänder. Verhalten des Fettpolsters bei den Bewegungen im Kniegelenk.

4. Der Raum unter der Sehnenkappe und seine Ausfüllung

Die Femurkondylen ruhen bei der Streckung mit ihrer breiteren antero-posterioren Ausdehnung auf der oberen Endfläche der Tibia und überragen dieselbe nach vorn, während sie bei der Beugung mit ihren schmalen hinteren Polen deren hinteren Teilen auf ruhen, wodurch vorn ein klaffender Raum zwischen ihnen und der Tibiaendfläche entsteht. Die Patella wird bei der Streckung gegenüber dem Vorderrand der Tibiaendfläche nach vorn geschoben, so daß die vordere Profillinie des Knies über diejenige des Unterschenkels deutlich vorsteht. Das Lig. patellare inferius hebt sich von der dreieckigen Vorderfläche des Tibiaendes nach vorn ab.

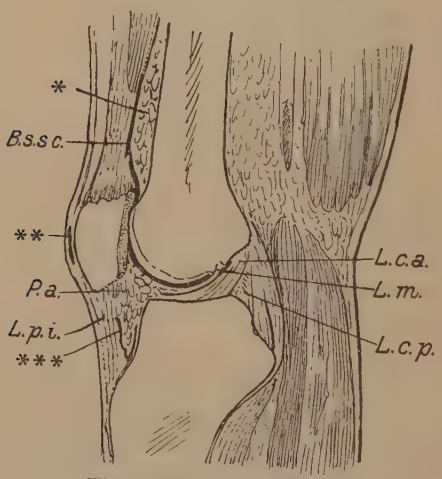
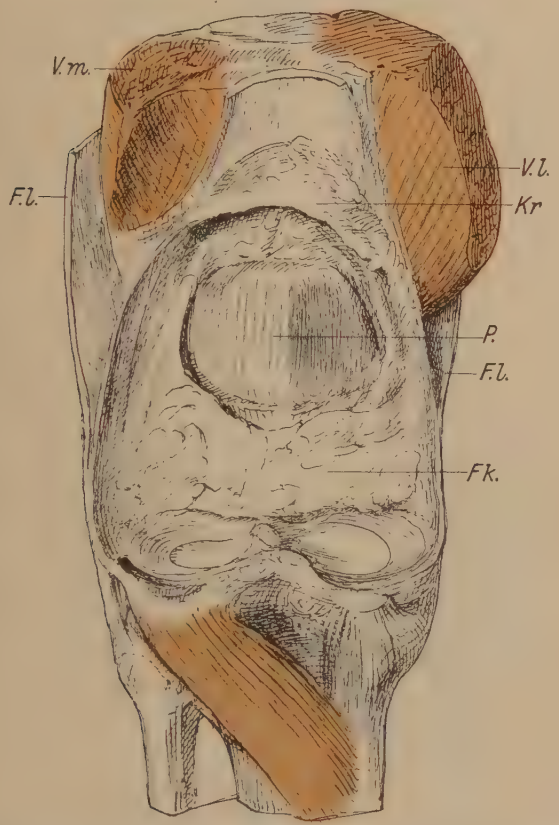


Fig. 126, frei nach Henle.

Bei der Beugung sinkt die Patella mit dem Lig. patellae inf. nach hinten zurück, um so mehr, als sie mit ihrem oberen Rand in die tieferen unteren Teile des Sulcus patellaris zu liegen kommt. Die vordere Profillinie des Knies vom Unterschenkel her verfolgt, weicht nun schon von der Tuberositas tibiae an deutlich nach hinten zurück und legt sich der Vorderfläche des Tibiaendes eng an.

Die Dreieckfelder, in welchen die Sehnenkappe jederseits vom enrand des Lig. pat. inf. und vom Rand der Patella zu der Rand-te des Femurkondylus hinüberbrückt, verschmälern sich bei der eckung, indem ja immer mehr die vorderen, näher beisammen-nden Teile der Randkanten des Femurendes neben das untere escheibenband zu liegen kommen. Die seitlich unter der Sehnen-pe vor der Tibia gelegenen Fettmassen werden bei der Streckung er das Lig. patellare inferius zusammengeschoben.



127. Gelenkboden und Vorderwand eines l. Kniegelenkes. *P.* Patella, *Fk.* Fettkörper, *Kr* Kapselrest, *F. l.* Fascia lata.

Bei der Beugung verbreitern sich umgekehrt die Dreieckfelder l ziehen sich neben dem Rand der Patella weiter hinauf. Die Patella t sich von unten an mehr und mehr vom Grund des Sulcus patellae Der Winkel zwischen den Femurkondylen und der Endfläche der ia mit den Menisci öffnet sich, seine Scheitellinie verbreitert sich i weicht nach hinten zurück. Da aber die von der Sehnenkappe

und der Patella gebildete Vorderwand des Raumes zugleich nach hinten geht, so bleibt die Ausdehnung des letzteren im ganzen ziemlich gleich groß. Trotz seiner Formveränderung ist er jederzeit ausgefüllt durch

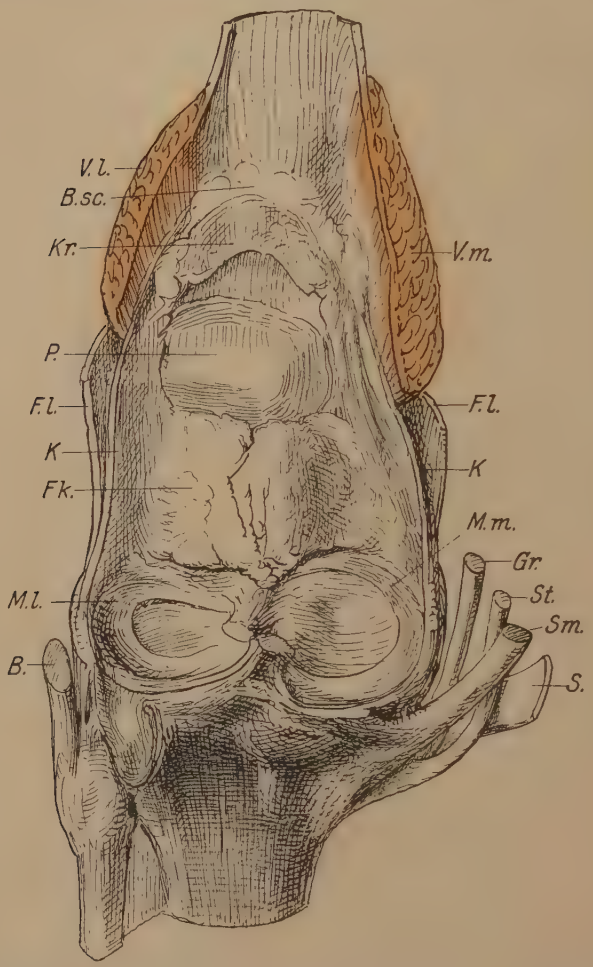
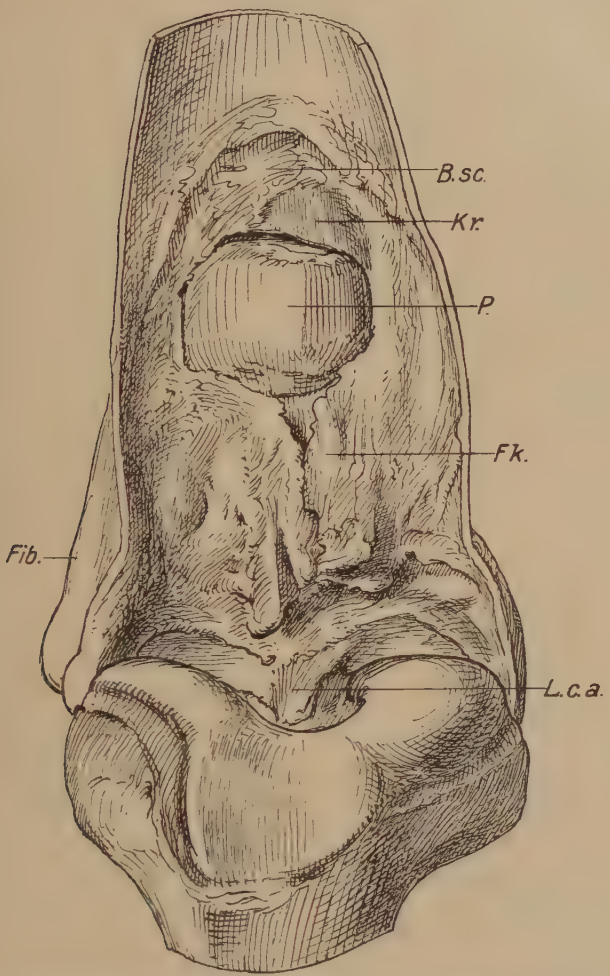


Fig. 128. Gelenkboden und Vorderwand eines l. Kniegelenkes. *P.* Patella, *Fk.* Fettkörper, *K* Kapsel, *Kr.* Kapselrest, darüber *B. sc.* das Gebiet der Bursa subcruralis *V. m.* und V. *l.* Vastus med. und Vastus lat., *F. l.* Fascia lata, *M. m.* und *M. l.* Meniscus med. und Meniscus lat., *B.* Endsehne des Biceps, *Gr.*, *St.*, *Sm.* und *S.* Endsehnen des Gracilis, Semitendinosus, Semimembranosus und Sartorius.

das Fettpolster, welches sich zwischen Tibia und Kniescheibe an die Sehnenkappe anschließt und oberhalb der Endfläche der Tibia frei in den Gelenkraum einragt. Dieses Polster ist genügend weich, gegliedert

l verschieblich, daß es sich der wechselnden Gestalt des Raumes zupassen vermag. Die Figg. 128, 129 und 130 (s. auch Fig. 123) ügen, um zu zeigen, wie vielgestaltig im einzelnen dieses Fettpolster



g. 129. Gelenkboden eines l. Kniegelenkes mit dem Ende des Femur in Beugeellung. Vordere Kapselwand mit Fettkörper. Buchstabenbezeichnung wie in Fig. 128. *L. c. a.* Lig. cruciatum ant.

in kann. Vermöge seiner Weichheit schiebt es sich, wie schon erwähnt urde, bei der Streckung in den sich erweiternden Raum zwischen der ehnenkappe und dem vorderen Dreieckfeld der Tibia hinein, wird aber ei der Beugung aus demselben mehr und mehr nach der Seite und nach ben hinausgedrängt.

Man versteht leicht, daß es hier zur teilweisen Abspaltung des Polsters gegenüber der Sehnenkappe oder gegenüber der Fläche der Tibia oder gegenüber beiden kommen muß. Man findet (nach R. Fick schon beim sechsmonatlichen Fötus) ganz regelmäßig einen Schleimbeutel (Bursa mucosa infrapatellaris profunda s. subtendinea), der in der Regel aus zwei den festen Wänden des Raumes entlang laufenden Spalten besteht, die getrennt bleiben oder nach unten und nach der Mitte zusammen treffen können. Niemals kommunizieren die genannten Spalten mit dem Raum der Gelenkhöhle.

Entsprechend dem Bezirk der vorderen Kapselwand zwischen dem unteren Umfang der Patella und dem vorderen Rand der Tibiaendfläche ragt das Fettpolster bei der Beugung in Form eines Keils mit quergestellter rückwärts gewendeter Schneide in den Zwischenraum zwischen Tibia und Femur hinein. Es schiebt sich aber in Form feinerer Nebenkeile auch zwischen die Ränder der Patella und die Femurgelenkfläche, im Bereiche des unteren und seitlichen Umfanges der Patella. Der quere Hauptkeil ist in der Mitte zwischen den Kondylen verdickt, ragt hier tiefer in die Gelenkhöhle ein und ist gewöhnlich dem vorderen Kreuzband entlang durch einen dünnen weichen Zipfel mit dem vorderen Rande der Incisura intercondyloidea verbunden. Der bei der Beugung der Tibiaendfläche und den Menisci aufliegende Teil des Polsters muß natürlich, soweit er bei der Streckung wieder nach vorn hinausgedrängt wird, von der Unterlage abgespalten sein. Der den Kreuzbändern entlang laufende Zipfel wird dabei ausgezogen. Er kann von der Masse der Kreuzbänder abgespalten sein als frei durch die Gelenkhöhle verlaufendes Lig. mucosum (s. Fig. 126).

Ebenso müssen die unter die Ränder der Kniescheibe eindringenden Teile, die bei der Streckung wieder zurückgeschoben werden, von diesen Rändern abgespalten sein. Die Schneiden der Keile sind stellenweise zerschnitten, gelappt, zackig, ja ausgefranst. Die Seitenteile des am unteren Umfang der Patella mehr oder weniger weit und scharf in die Gelenkhöhle einragenden Fettpolsters hat man als Ligg. alaria bezeichnet.

5. Die Bursa synovialis suprapatellaris.

Der dünne proximale Teil der vorderen Kapselwand faltet sich bei der Streckung in den Zwischenraum zwischen dem Femur und dem Quadriceps nach oben aus und bildet eine dünnwandige obere Aussackung der Kapsel (Bursa synovialis subcruralis s. suprapatellaris). Die Entwicklungsgeschichte lehrt, daß hier bis ungefähr zur Zeit der Geburt an Stelle des obersten Teiles der Aussackung ein Schleimbeutel vorhanden ist. Bei der Beugestellung liegt derselbe vor dem oberen Teil eines dünnen, am oberen und seitlichen Rand des vorderen Abschnittes der Femurgelenkfläche entspringenden proximalen Kapselteiles, der jetzt mehr oder weniger gespannt über die vordere Wölbung des Gelenkendes verläuft. Nur in der Beugestellung verschiebt sich das untere suprapatellare Ende des Quadriceps als ein gefestigter Teil unter Druck auf einer gefestigten Unterlage, dem Gelenkende des Femur mit der Kapsel auf und ab. Der Schleimbeutel entsteht infolge dieser Verschiebung in der Beugestellung zwischen Quadriceps und Kapsel. Zugleich aber usuriert die letztere und bleibt nur in Rudimenten erhalten, so daß nun Schleimbeutel und Gelenkhöhle kommunizieren. Bei der Streckung bildet der Teil der usurierten Kapsel, welcher dem unteren Ende des Schleimbeutels in der Beugestellung entspricht, den zu oberst gelegenen Teil dieser Kapsel. Der Schleimbeutel liegt nun nach oben und hinten vom Kapselrudiment (s. die Figg. 126, 128 und 129). Seine obere Abschlußmembran gegenüber dem weichen Gewebe unter dem

adriceps bildet jetzt die hintere Abschlußwand der zur Gelenkhöhle zugekommenen Synovialtasche.

β) Die Hinterseite des Kniegelenkes.

Grundschicht der hinteren Kapselwand und Kreuzbänder.

Zahlreiche anatomische Einzelheiten kommen zur Beobachtung bei Präparation der Hinterseite und der beiden Seitenflächen Kniegelenkes. Manche dieser Einzelheiten sind allerdings von eresse mehr in chirurgischer als in mechanischer Hinsicht. Wenn z. B. erkannt haben, daß Schleimbeutel sich überall da bilden, wo ı gefestigte Teile aneinander unter Druck gleitend verschieben, er- eint eine detaillierte Aufzählung und Beschreibung aller überhaupt Kniegelenk vorkommenden Schleimbeutel — es sind ihrer gegen — fast überflüssig, um so mehr, als mit abnormen Form- und Lage- hältnissen der sich gegeneinander bewegenden Teile auch die Schleim- ıtel in anderer Weise auftreten. Höchstens läßt es sich rechtfertigen, ıde das Kniegelenk als Paradigma zu benutzen, um daran die Gesetz- ßigkeiten der Schleimbeutelbildung zu zeigen.

Bezüglich der Faszie der Hinterseite des Kniegelenkes verweisen auf die S. 26 gemachten Angaben.

Als Grundschicht der hinteren Kapselwand (s. Fig. 130) ın man die hinter den Kreuzbändern vorbeiziehende faserige Haut ehen, welche sich bei der Streckung über die Kondylenwülste hinüber t ebensosehr der Quere als der Länge nach spannt und bei der passiven tstellung des Kniegelenkes gegen Überstreckung nicht unerheblich twirkt. Unter den hier in Betracht kommenden Faserzügen lassen ı mehr längs und mehr quer oder schräg oder im Bogen verlaufende terscheiden. Die bogenförmigen Züge werden bei der Streckung rch die nach hinten und oben drängenden Kondylen emporgehoben l schlingen sich demgemäß wesentlich um die obere Peripherie der ndylen herum oder über ihre höchste Wölbung herüber. Seitlich ließen sie sich den Epikondylen und Seitenbändern an, zwischen den ndylen aber steigen sie vorzugsweise bis zur Tibia herab. Ganz be- ders mächtig sind die über die Wölbung des lateralen Condylus spannten, medialwärts zur Tibia absteigenden Fasern (Lig. popli- ıum obliquum).

In die Grundschicht der hinteren Kapselwand strahlen nun in gleich ıer zu erörternder Weise verschiedene Muskelsehnen ein. Zur hinteren pselwand gehört aber im weiteren Sinne auch die ganze Dicke des ı hinten her zwischen die beiden Kondylenwülste eindringenden, die isura intercondyloidea femoris zum großen Teil ausfüllenden Pfeilers, sich unten an der Area intercondyloidea tibiae bis ins vordere Feld sdehnt. Dieser Pfeiler besteht aus den beiden Kreuzbändern und einer zwischen ihnen und der hinteren Grundschicht eingelagerten, Fettgewebe und lockeren Bindegewebszügen bestehenden Füllmasse.

Die Kapsel des Kniegelenkes greift natürlich an der Rückseite über die Gelenkflächen der Femurkondylen hinauf. Den nicht überknorpelten Teil der Fovea intercondyloidea füllt sie mit den Ligg. cru-

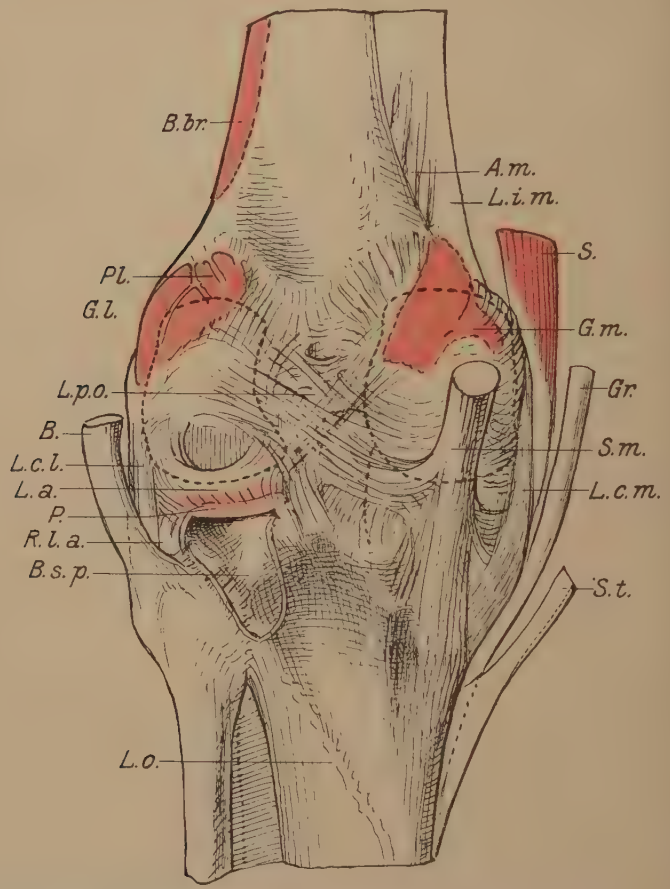


Fig. 130. Linkes Kniegelenk mit den Muskelansätzen von hinten. *L. p. o.* Grundschicht der hinteren Kapselwand mit dem Lig. popliteum obliquum, *L. c. l.* und *L. c. m.* Lig. collaterale med. und lat., *L. a.* Lig. arcuatum, *P.* M. popliteus, *R. l. a.* Retinaculum Lig. arcuati, *B. s. p.* Bursa synovialis poplitea, *S. m.* Endsehne des Semimembranosus, *G. l.* und *Pl.* Ursprung des Gastrocnemius lat. und des M. plantaris, *G. m.* Ursprung des Gastrocnemius medialis, *B. br.* Ursprung des Caput br. des M. biceps, *A. m.* und *L. i. m.* Endsehne des Adductor magn. und Lig. intermusculare med. *B.* Endsehne des M. biceps, *S.*, *Gr.* und *S. t.* Enden des Sartorius, Gracilis und Semitendinosus, *L. o.* Linea obliqua tibiae.

ciata und erstreckt sich äußerlich bis ins Niveau des Planum popliteum. Unten setzt sich die hintere Kapselwand mit der zugehörigen Bandmasse der Ligg. cruciata breit an der Regio intercondyloidea tibiae fest, ver-

det sich auch ziemlich breit unterhalb der Circumferentia articularis der Hinterseite des Condylus medialis tibiae; lateralerseits aber, en das Fibulaköpfchen hin greift ihre Ursprungslinie an der Tibia, in Rinne zwischen ihr und dem Fibulaköpfchen, tiefer hinab und icht letzteres am lateralen Seitenband, das im übrigen aus der psel etwas herausgehoben ist (s. o.).

2. Einstrahlung der Semimembranosussehne.

Eine mehrzipflige sehnige Ausstrahlung findet sich an der Grenze medialen und der hinteren Kapselwand. Sie geht von der Sehne M. semimembranosus aus. Dieser Muskel (Figg. 11 u. 130) hat oben e membranartig verbreiterte Ursprungssehne, die zur lateralen Seite Muskelbauches absteigt und mit diesem eine Rinne bildet, in che der Semitendinosus hinten eingelagert ist. Beiden Muskeln dicht geschlossen entspringt oben der lange Kopf des Biceps, wie jene n Tuber ischii. Der Semitendinosus zieht schräg über dem Muskel- ich des Semimembranosus nach innen, so daß seine schlanke End- ne hinter diejenige des Semimembranosus zu liegen kommt. Die dsehne des Semimembranosus liegt am medialen Rande seines schräg- erigen Muskelbauches und zieht sich an ihm weit hinauf. Unten it sie medial vom Gastrocnemius vorbei zur Kapsel und erreicht ztere an der Grenze zwischen der Hinter- und Innenwand, nahe rhalb des medialen Meniscus, um sich in ihr in drei Zipfel zu teilen. r Zugeinwirkung bei gestrecktem Knie entspricht der Faserzug, welcher lang der Tibia zum Periost der medialen hinteren Kante des Mittel- ckes absteigt. Der Zugeinwirkung bei gebeugtem Knie entsprechen ei quer in der Kapsel verlaufende Faserzüge, die gleichsam die Ränder er vom Muskel nach dem Oberschenkel hin herausgezogenen Kapsel- te darstellen, ein hinterer Querzug, der in der hinteren Kapselwand eralwärts zieht, und ein medialer, welcher in der medialen Kapsel- nd, unten am Rand des medialen Meniscus und an seiner tibialen heftung entlang zum Seitenrand des Tibiaendes verläuft. Der letzt- nannte Zipfel stellt einen gedrungenen Sehnenstrang vor. Er schiebt h zwischen den Rand des Meniscus und das Lig. collaterale mediale gum ein.

Zwischen ihm und der Unterlage (Meniscus, untere Anheftung des- lben, Seitenrand des Tibaendes) findet sich konstant eine Gleitungs- alte (Bursa semimembranosa propria, R. Fick), welche in der gel unterhalb des Meniscus mit der Gelenkhöhle kommuniziert und durch zur Bursa synovialis semimembranosa wird. Im ein- nen zeigt dieselbe wechselnde Verhältnisse.

3. Die Wadenmuskeln hinten am Kniegelenk.

An der Hinterwand der Kniegelenkkapsel schieben sich die Waden- uskeln gegen den Oberschenkel hinauf. Und zwar handelt es sich n den M. popliteus in der Tiefe und um zwei dicht aneinander ge-

preßte oberflächliche Muskelwülste, den medialen Gastrocnemiuskopf einerseits, den M. plantaris und den lateralen Gastrocnemiuskopf andererseits.

Das Verhalten aller dieser Muskeln resp. ihrer Sehnen zueinander und zum Gelenk muß genauer ins Auge gefaßt werden.

Vor allem interessant ist das Verhalten des M. popliteus. Derselbe reicht mit dem oberen Ende seines Muskelfleisches bei der Streckstellung des Knies nur etwa bis in das Niveau des lateralen Meniscus und verschmilzt hier, unterhalb des lateralen Kondylenwulstes sehnig mit der Kapsel. Seine Zugwirkung setzt sich, der vom lateralen Condylus bewirkten Vorwölbung der hinteren Kapselwand ausweichend, in einem zweischenkligen aufwärts konvexen bogenförmigen Faserzug fort. Der äußere, stärkere Bogenschenkel setzt sich gegen den Epicondylus lat. hin fort, der innere strahlt schräg einwärts gegen die Interkondylenrinne empor. Bei der Beugestellung zieht der Muskel die Kapsel unterschenkelwärts als Falte heraus; es setzt sich dann ein Zug auch im unteren Schenkel dieser Falte, namentlich gegen die obere Peripherie des Tibio-Fibulargelenkes und das Fibulaköpfchen fort. Der obere, bogenförmige Sehnenzug wird als Lig. arcuatum popliteum, die untere Ausstrahlung gegen das Fibulaköpfchen als Retinaculum Lig. arcuati bezeichnet. Diese Verhältnisse sind übrigens nicht immer ganz deutlich und typisch ausgeprägt.

Seitlich von den Teilen der hinteren Kapselwand, welche durch die Einstrahlung resp. den Zug des M. popliteus und des Semimembranosus verstärkt sind, liegt der untere Kapselansatz, eine Strecke weit, soweit die Menisci beweglich sind, unterhalb des Randes der Kondylenflächen der Tibia. Solches ist auch der Fall hinten am lateralen Condylus der Tibiae, nach unten von dem ebenfalls noch beweglichen und von der Tibia abgespaltenen hinteren Teil des lateralen Meniscus. Hier zieht sich der untere Ansatz der dünnen Kapselpartie unter dem Musculus popliteus in der hinteren Rinne am Tibio-Fibulargelenk noch weiter hinab, unter Bildung eines taschenförmigen Recessus der unter dem Meniscus lateralis gelegenen Nebenspalte des Kniegelenkes (Bursa synovialis poplitea). Es handelt sich hier um einen „Abhebungsraum". Bei gestrecktem Knie legt sich der ganz erschlaffte M. popliteus völlig in den Grund der Rinne hinein, bei Anspannung des Muskels aber und Beugung des Knies findet eine Abhebung der steifen Muskelplatte von der Unterlage statt; in den entstehenden Raum dringt Synovia aus der Gelenkhöhle nach. Mitunter kommuniziert die Bursa synov. poplitea mit dem Tibio-Fibulargelenkraum. Häufiger findet man, daß auch von der oberen Kniegelenkkammer, oben am Rand des Meniscus vorbei eine Ausstülpung unter den Musc. popliteus stattgefunden hat.

Eine Bursa poplitea post. superfic. findet sich ziemlich häufig zwischen dem lateralen Zipfel des Lig. arcuatum und dem Lig. collaterale fibulare; sie kann ziemlich weit sein und mit der Gelenkhöhle kommunizieren.

Auch die beiden Gastrocnemiusköpfe verschmelzen am Ursprung mit der Gelenkkapsel. Der laterale Kopf liegt mehr lateral neben dem lateralen Condylus, sein lateraler Rand ist zugleich der vordere. Der

liale Kopf aber liegt dem medialen Condylus mehr direkt von hinten
Er ist durch die Sehne des Semimembranosus und ihre Verbindung
der Kapsel lateralwärts gehalten, während er seinerseits diese Sehne
ihrer Einheftung innen hält. Unterhalb der eigentlichen Verschmel-
ıg, zwischen dem Muskel und der Kapsel findet sich hier in der Mehr-
l der Fälle ein Schleimbeutel, der (nach R. Fick und Krause)
in der Hälfte der Fälle mit der Kniegelenkhöhle kommuniziert.
ist dies die Bursa mucosa (s. synovialis) gastrocnemica
dialis. Viel seltener findet sich ein Schleimbeutel unter dem Ur-
ung des lateralen Gastrocnemiuskopfes (Bursa mucosa gastro-
emica lateralis).

4. Hintere Ränder der Muskelkappe.

Die am Oberschenkel liegenden und über das Kniegelenk hinüber-
ifenden Muskeln bilden, wie früher erläutert worden ist, eine Art
ppe, welche das untere Ende des Oberschenkels und das Knie vorn
l an den Seiten bedeckt und jederseits mit einem freien Rand nach
Kniekehle zu vorspringt.

α) Der mediale Rand der Kappe wird vom M. semimembra-
sus und Semitendinosus, vom M. gracilis und vom M. sartorius ge-
det, der laterale Rand vom M. biceps. Diese Muskeln ziehen in
en Stellungen hinter den Epikondylen des Kniegelenkes vorbei und
d in allen Stellungen Beugemuskeln des Kniegelenkes. Sie fassen
Muskeln der Wade, welche sich an der Rückseite der Kniegelenk-
psel gegen das Femur hinauf fortsetzen, zwischen sich.

Innenrand der Muskelkappe.

Am nächsten dem Gelenk inseriert der Semimembranosus. Sein
uskelfleisch reicht außen an der Endsehne bis nahe an den medialen
ndylus femoris. Auf demselben zieht, in eine Rinne eingedrückt,
wärts der Semimembranosussehne sich nähernd, die Semitendi-
osussehne herab. Durch das Einschneiden des Semitendinosus in
n Semimembranosusbauch bei der Streckstellung wird ein lateraler
terer Teil des letzteren wulstartig vorgetrieben und mit seinem unteren
and stark quergestellt.

Der Semitendinosus ist der hinterste Muskel des medialen Randes
r vorderen Mukelkappe. Er setzt sich am weitesten unten an der
bia an und reicht bei der Beugung am meisten vom Gelenk ab. Nach-
m seine Sehne die Semimembranosussehne überkreuzt hat, schließt
h ihr von vorn her die Sehne des Gracilis an und auf diese folgt
der Innenseite des Knies der M. sartorius, wobei jeder folgende
uskel etwas höher an der Tibia inseriert und mit ihrer dreiseitigen
hnenendverbreiterung diejenige des vorhergehenden Muskels ein Stück
it zudeckt. Es kommt so zur Bildung des sog. Pes anserinus.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Sehnenendverbreite-
ng in Zusammenhang steht mit dem flachen Übergang der Sehnen

in die freie Vorder-Innenseite der Tibia. Bei Beugestellung setzt sich die Zugeinwirkung in der Periostbedeckung dieser Fläche mehr quer zu oberen Teilen, bei der Streckstellung mehr schräg und zu tieferen Stellen fort. Dabei verschieben sich bei Beugung und Streckung die Sehnenplatten aneinander und auf der Unterlage unter Druck. Dementsprechend muß hier eine Mehrzahl von Schleimbeuteln, die teilweise auch miteinander kommunizieren können, vorhanden sein (Bursa mucosa anserina).

Ein Schleimbeutel findet sich meist auch zwischen dem Sartorius und dem medialen Condylus. Bei der Streckstellung liegt hier der Muskel noch mit seinem fleischigen Teil dem Condylus med. dicht hinter dem Epicondylus breit auf. Bei Beugestellung rückt natürlich das Fleischende dem Femur gegenüber proximalwärts. Aus der Lage des Muskels ergibt sich seine beugende Wirkung.

Gastrocnemius medialis und Semimembranosus zwingen sich, wie erwähnt, gegenseitig zu gebogenem Verlauf: sie verhaken sich. Und zwar drücken sie hauptsächlich aufeinander, wo die freie Sehne des Semimembranosus den medialen Rand der Ursprungssehne des Gastrocnemius medialis überkreuzt. Dabei verschieben sie sich hier aneinander. Bei der Streckung rückt die Semimembranosussehne am Gastrocnemius proximalwärts und dieser gleitet an der Semimembranosussehne distalwärts. Das Umgekehrte findet statt bei der Beugung. Wie zu erwarten, findet sich an der Kreuzungsstelle ein Schleimbeutel, die Bursa mucosa gastrocnemio-semimembranosa. Dieselbe fehlt kaum jemals. Sie ist der erste hintere Schleimbeutel am Knie, der in der Entwicklung (schon beim Fötus) auftritt. Sie kommuniziert häufig mit der Bursa m. gastrocnemica medialis, und da diese selbst in der Hälfte der Fälle mit dem Gelenk kommuniziert, so mag es zutreffen, daß man jene in ca. einem Drittel der Fälle mit der Gelenkhöhle in Kommunikation findet. Nach R. Fick kommuniziert sie häufiger rechts als links, und häufiger bei robusten Leuten. Die Kommunikationsöffnung ist groß bei der Streckung, klein bei der Beugung.

Außenrand der Muskelkappe.

Der laterale Rand der vorderen Muskelkappe wird vom M. biceps gebildet. Sein kurzer Kopf ist eine rückwärts vorragende Fleischleiste seitlich von der Kniekehle. Die Endsehne entwickelt sich an ihrem hinteren Rand. Der lange Kopf ist mehr von vorn und hinten abgeplattet, er steigt von oben und innen her zu der Randkante des Biceps brevis ab; die Endsehne entwickelt sich als Sehnenspiegel an der Rückseite; sobald sie das letzte Muskelfleisch überschritten hat, verbindet sie sich außen mit der Endsehne des kurzen Kopfes. Bei längsgespannter Faszie und Haut der Kniekehle bei gestrecktem Knie kann die Grenze zwischen den beiden Fleischbäuchen zur Furche einsinken, welche gegen die Mitte der Kniekehle hinabzieht.

Eine Bursa bicipitalis inferior s. propria findet sich häufig da, wo die Bicepssehne an das Lig. collaterale fibulare von hinten heranzieht; sie kann 2 cm lang sein und existiert nach R. Fick bereits beim Neugeborenen.

Eine Bursa gastrocnemio-bicipitalis findet sich — selten — bei vorhandenem Sesambein in der Ursprungssehne des Gastrocnemius lateralis, die dann

kerartig vorragt. Auch kann zwischen einem solchen Höcker und der Haut
Bursa gastrocnemia lateralis subcutanea vorhanden sein. Erwähnt
l ferner, daß mitunter ein Schleimbeutel zwischen der Bicepssehne und dem
dylus lateralis femoris vorkommt.

γ) Die Seiten des Kniegelenkes.

An den beiden Seiten des Kniegelenkes nehmen naturgemäß Seitenbänder das Hauptinteresse in Anspruch. Wir unterscheiden ıtlich ein laterales Seitenband, das vom Epicondylus lateralis n Fibulaköpfchen herabzieht und ein mediales Seitenband, das, n Epicondylus medialis nach unten sich ausbreitend, zum Rand des niscus und zur Tibia verläuft. Das letztere ist nicht immer scharf grenzbar. Auch lassen sich selbst unten nicht immer deutlich die rflächliche und die tiefe Lage sondern. Die genauere Besprechung ser Bänder folgt auf S. 358. Man beachte schon jetzt ihr Verhalten den Bewegungen im Kniegelenk (Figg. 146 bis 149). Unter dem ıgen medialen Seitenband, wo es auf dem Rand der Femurrolle l auf dem Rand des Tibiacondylus etwas vor- und rückwärts gleitet, d öfters Schleimbeutel zu finden. Ein Schleimbeutel kann auch unter n Ansatz des Tractus ileo-tibialis der Faszie vorhanden sein.

Nachdem die seitlichen und hinteren Muskeln präpariert, gekürzt und in ihrem halten zum Gelenk genau untersucht sind (Schleimbeutel), kann die seitliche pselwand oberhalb und unterhalb der Menisci bis auf die Seitenbänder, die tere Kapselwand bis an die Kreuzbänder entfernt werden. Damit ist das Bänderparat hergestellt, welches als hauptsächliches Modell beim Studium der Begungen im Gelenke zu dienen hat.

Instruktiv sind ferner Sägeschnitte, welche in den Ebenen der Hauptofile durch Femur und Tibia gelegt sind und Schnitte parallel einem Hauptofil dicht neben den Kreuzbändern.

C. Genaueres über die Bewegungen im Kniegelenk.

α) Die Hauptprofile der tibialen Genkflächen des Femur.

Wir geben zunächst in Fig. 131 die Abbildung eines mittleren bieralen Längsschnittes durch das gestreckte Kniegelenk. Sie zeigt e quere Krümmung der tibialen Gelenkflächen und außerdem die reuzbänder, die Menisci und das Verhalten der Gelenkspalten und piphysenlinien.

Das sagittale Hauptprofil, das heißt das größte Krümmungsprofil r inneren tibialen Gelenkfläche des Femur bis zur vorderen Grenzıne ist im Mittel 10 cm lang. Die Länge des sagittalen Hauptofils der äußeren tibialen Gelenkfläche aber beträgt nur ca. 8 cm.

H. v. Meyer trennte das Stück, um welches die mediale Gelenkfläche die laterale vorn übertrifft, als „überschüssiges Stück" ab. Seine Bogenlänge betrage 34°, sein Krümmungsradius 4 cm. In dem hinteren Rest des medialen Hauptprofils und im ganzen lateralen Hauptprofil unterschied er je einen vorderen, flacheren Teil mit 3 cm Krümmungsradius und einem Bogenwert von 40° und einen hinteren größeren Teil mit 2 cm Radius und 120° Bogenwert.

Nach den unter Aeby (1876) von Herm. Albrecht angestellten Untersuchungen lassen sich die beiden tibialen Hauptprofile, ohne daß man innen ein überschüssiges Stück abtrennt, in einen kleineren hinteren Kreisbogen von kleinerem Radius und in einen vorderen Kreisbogen mit größerem Radius zerlegen. Die hinteren Kreissegmente sind einander ziemlich gleich, mit 15—21 mm (im Mittel ca. 18 mm) Radiuslänge auf beiden Seiten in einer ersten Gruppe von 8 Gelenken und mit 16,5—22,5 mm Radiuslänge am inneren Condylus, 17,5—25,0 am äußeren

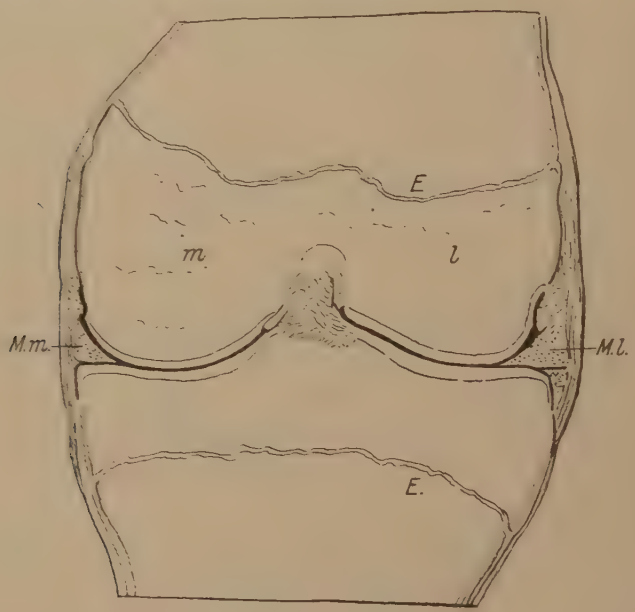


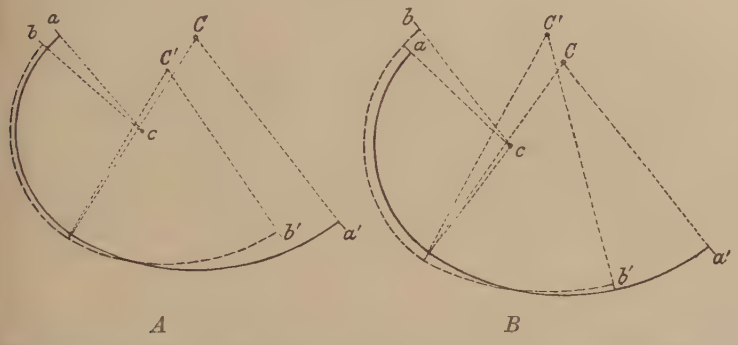
Fig. 131.

Condylus (im Mittel 17,1 und 20,4) an einer zweiten, zahlreicheren Gruppe von 17 Gelenken. Der Bogenwert betrug 104,4° am Condylus int., 96,5 am Condylus ext. in der ersten Gruppe, 96,2 und 104,8° in der zweiten Gruppe (Fig. 132). Dagegen zeigte sich an den vorderen Krümmungssegmenten teilweise eine größere Verschiedenheit zwischen beiden Kondylen, nämlich bei der ersten Gruppe im Mittel 32,5 mm Radius (68,9 Bogengrade) am Condylus int., 27,1 mm Radius (65,5 Bogengrade) am Condylus ext., bei der zahlreicheren zweiten Gruppe aber 33,0 mm Radius (73,2 Bogengrade) am Condylus int. und 36,6 mm Radius (44,1 Bogengrade) am Condylus ext.

In zwei Drittel der untersuchten Fälle (Gruppe II) war also das vordere Segment nach dem Bogenwert am äußeren Condylus erheblich kleiner als am inneren, dem Radius nach aber etwas größer, während bei einem Drittel das äußere Segment an Radius und Bogenwert am Condylus externus nur unbedeutend kleiner war als am Condylus internus.

Bugnion hob mit Recht gegenüber Albrecht hervor, daß in Wirklichkeit ie hintere stärkere Krümmung allmählich und ohne schärferen Übergangswinkel a die vordere, flache Krümmung übergeht und daß in dem vorderen Teil des Profils er Krümmungsradius noch zunimmt. Es geschieht dies nach den Messungen on Bugnion zunächst etwas rascher am lateralen Condylus; indem aber das ediale Profil eine größere Länge besitzt, übertrifft schließlich der Krümmungsdius des medialen Hauptprofils denjenigen des lateralen.

Nach R. Fick beträgt der Krümmungshalbmesser an den Hauptprofilen an er medialen Seite hinten 15,5—17, unten vorn 33,5—40 mm, an der medialen olle aber hinten 16—19 und vorn 33—41 mm.



ig. 132. Hauptprofile der Femurkondylen nach H. Albrecht. *A* Erste Gruppe on Gelenken, *B* zweite Gruppe, *aa'* Condylus internus, *bb'* Condylus externus.

Wie schon Langer gezeigt hat, liegen die Mittelpunkte der aufeinanderfolgenden Teile der Krümmung der beiden Hauptprofile je in einer nach hinten absteigenden, unten rückwärts eingerollten Spirale und zugleich in der auf dem betreffenden Teil der Krümmung errichteten Normalen. Läßt man in der Ebene des Profils eine Gerade so wandern, daß sie mit den Normalen aller aufeinanderfolgenden Profilteile sukzessive zusammenfällt, so berührt sie jene Spirale jederzeit nur in einem Punkte und wickelt sich an ihr ab.

Die Spirale, in welcher die Krümmungsmittelpunkte des Oberschenkelprofils liegen, ist die Evolute dieses Profils, die Normale des Profils, welche auf der jeweiligen Berührungsstelle des Hauptprofils mit der Tibia senkrecht steht und bei der Bewegung an dieser Evolute entlang wandert, ist die Evolvente.

Unter der Voraussetzung, daß zwischen Femur und Tibia nur Drehgleiten stattfindet (s. u.), bleibt immer dieselbe Stelle der Tibiaendfläche jederseits mit dem Hauptprofil des Femurcondylus in Berührung. Man kann sich also, wenn jene Bedingung erfüllt ist, die wandernde Evolvente, die sich an der Evolvute abwickelt, mit der Tibia starr verbunden denken. Die jeweilige Drehungsachse geht dann durch die beiden Punkte, in denen jeweils in den Ebenen beider Hauptprofile die beiden Evolventen die Evoluten berühren. Dieses Verhalten läßt sich sehr leicht in einem Modell zur Anschauung bringen.

Bugnion (1892) hat für verschiedene Präparate die Lage der Evoluten an beiden Hauptprofilen genau ermittelt (an Sägeschnitten in

der Ebene der Hauptprofile). Wir geben nebenstehend eine seiner Abbildungen wieder (Fig. 133). Ist wirklich die Beuge-Streckbewegung wie Bugnion annimmt, an jedem Condylus ein reines Drehgleiten, so kann nach dem Angeführten die Drehung des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel und v. v. nicht um eine einzige, fest zum Oberschenkel stehende Achse stattfinden; es muß vielmehr diese Achse während der Beugung oder Streckung ihre Lage sowohl zum

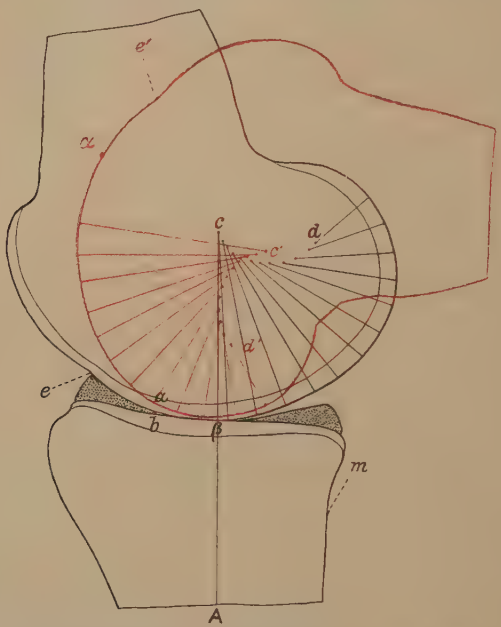


Fig. 133. Rollbewegung des Femur auf der Tibia nach Bugnion.

Femur, als auch gegenüber der Tibia ändern. Da aber die Evoluten beider Kondylen sehr wesentlich voneinander verschieden sind, können die in jeder Phase durch zwei Evolutenpunkte in ihrer Lage zum Femur bestimmten Drehungsachsen einander nicht durchaus parallel sein, und ebensowenig bleiben sie in ihren Lagen zur Tibia einander parallel. Entspricht eine bestimmte Richtung der Achse und Drehungsebene der reinen Flexion - Extension, so muß es sich bei davon abweichenden Richtungen um eine Kombination der reinen Flexion-Extension mit einer senkrecht dazu gerichteten Drehung handeln.

β) Die mit der Beugung und Streckung kombinierte Längsrotation.

Die bereits von früheren Untersuchern wohl erkannte Tatsache, daß das mediale Hauptprofil länger ist als das laterale, wurde früher von

n meisten Autoren nach dem Vorgang von H. v. Meyer durch die nahme erklärt, daß sich mit der Streckbewegung der Tibia gegen- er dem Femur eine Auswärtsrotation, mit der Beugebewegung aber e Einwärtsrotation um eine längs zum Unterschenkel verlaufende, h der Seite der medialen Kondylen zu liegende Achse in ganz be- mmter Weise kombiniert. Infolge davon mache die Tibia keine so ße Exkursion am lateralen Condylus femoris als am medialen. Nach v. Meyer findet diese Längsrotation am Schluß der Streckung resp. Anfang der Beugung statt (Schlußrotation — Initialrotation). e bestimmte Längsrotation ist also nach ihm zwangmäßig mit r Streckung resp. Beugung verbunden.

Nach Bugnion verteilt sich die Längsrotation in ziemlich typischer eise auf die ganze Beugung resp. Streckung; sie ist relativ zur Bewegung die Flexionsachse am ausgiebigsten bei einem Beugungswinkel von ° und kann im ganzen bei der passiv am Bänderpräparat ausgeführten wegung bis 50° betragen, bei einer Flexions-Extensionsbewegung von . 150°. Daß ein so hoher Wert von Längsrotation mit der gewöhnlichen uge- und Streckbewegung verknüpft ist, davon kann nun aber in irklichkeit nicht die Rede sein.

W. Braune und O. Fischer haben im Jahre 1891 die Änderung r Lage und Richtung der instantanen Drehungsachse bei der Relativ- wegung zwischen Femur und Tibia durch eine neue, ingeniöse und ir zuverlässige Methode mit großer Sorgfalt am Lebenden bestimmt, d zwar bei festgestelltem Oberschenkel und frei bewegtem Unter- henkel. Die Bewegung dieser mit dem Unterschenkel starr verbun- nen, gleichzeitig in bestimmten Zeitintervallen leuchtend gemachten nkte wurde zugleich von der Seite und von hinten her photographisch, f zwei senkrecht zueinander gestellten Platten registriert. Danach rden die Raumkoordinaten der drei Punkte in den 33 verschiedenen asen der Bewegung bestimmt und danach wieder konnte bei jeder ase für 1° Drehung um die quere Achse die Winkelgröße der bei- mischten Drehung um die Längsachse des Unterschenkels berechnet erden.

Es ergab sich, daß zu Beginn der Beugung, von 0—28° Beugungs- nkel im ganzen nahezu 6° Einwärtsdrehung des Unterschenkels statt- ndet, während in der darauffolgenden Beugung bis zur rechtwinkligen ellung des Unterschenkels diese Einwärtsdrehung ungefähr wieder ckgängig gemacht wird. — Es sind das Ergebnisse, welche von den rch Bugnion am Gelenkpräparat gewonnenen in auffälliger Weise weichen.

Braune und Fischer glaubten ferner feststellen zu können, daß e genannte Bewegung bei Lebenden in übereinstimmender Weise gleich- m zwangmäßig erfolgt, während am Gelenkpräparat, je nach den zur rwendung kommenden bewegenden und Gelenkdruck hervorrufenden räften die Bewegung etwas anders ausfällt.

Nun ist ja klar, daß am Präparat, je nach der Manipulation, die volutenfläche der Drehgleitung eine verschiedene Gestalt annehmen uß. Braune und Fischer andererseits waren aber offenbar im

Irrtum, wenn sie annahmen, daß besondere Längsdrehungen de Unterschenkels in Beugestellung vom Lebenden aktiv nicht ausgeführ werden können. Jederman ist im Gegenteil, bei darauf gerichtete Aufmerksamkeit und Übung imstande, am freien, gebeugten Unter schenkel Längsrotationen auszuführen und auch innerhalb gewisse Grenzen in mittleren Stellungen Beuge- oder Streckbewegung beliebi mit Ein- oder Auswärtsrotation des Unterschenkels zu kombinieren.

Auch zwischen dem festgestellten Unterschenkel und dem dazu ge beugten Oberschenkel läßt sich die Rotationsbewegung um die Unter schenkellängsachse sehr wohl ausführen, wenn auch bei voller Belastun des Fußes unter größeren Reibungswiderständen. Die Bewegung er scheint dann als ein Zurseiteschwenken des Oberschenkels.

Nur gegen die Grenzen der Streckung und vielleicht auch der Beu gung hin handelt es sich um bestimmte, typische und zwangmäßig Kombinationen zwischen reiner Beugung-Streckung und zwischen Rota tion um die Längsachse des Unterschenkels. Diese Kombinatione sind entweder von vornherein in der Einrichtung des Gelenkes selbs begründet, oder es haben ursprünglich nur gewohnheitsmäßig bevorzugt besondere Wirkungsweisen der Muskeln zu bestimmten Anpassunge des Gelenkmechanismus geführt, welche ihnen nunmehr den Charakte der Zwangmäßigkeit geben.

Mit dem Ende der Streckung verbindet sich in der Tat, wi H. Meyer angegeben hat, eine Auswärtsrotation der Tibia gegenübe dem Femur resp. eine Einwärtsrotation des Femur gegenüber der Tibia

Das Ende der Beugung aber kombiniert sich nach H. Virchow nach seinen Untersuchungen an der Leiche mit etwas Einwärtsrotatio der Tibia. Soweit ich sehe, lehrt auch die Beobachtung des Lebende daß sich der Fuß gegen den Schluß der Beugung mehr sagittal stell Auf die Gründe dieser Erscheinungen werden wir weiter unten genaue eintreten.

γ) Drehgleiten und Rollung bei der Beugung und Streckung.

H. v. Meyer und Bugnion haben offenbar die reine resp. m Nebenbewegung mehr oder weniger typisch verbundene Flexions-Exten sionsbewegung als ein bloßes Drehgleiten im Gelenk aufgefaßt.

Andere Autoren haben darauf hingewiesen, daß im Kniegelen wegen des Auseinanderklaffens der Gelenkflächen außer dem Drel gleiten um eine in der Gegend der Epikondylen oder höher gelegen Achse auch noch eine Rollung — bei der Streckung nach vorn, bei de Beugung nach hinten — stattfinden kann.

Da die Frage von prinzipieller Bedeutung für die Lehre von de Bewegungen in den Gelenken ist, so wollen wir derselben im folgende eine eingehende Besprechung in einem besonderen Kapitel widmen.

Theoretisches über Achsenebenen und Pollinien, Abrollung und Drehgleiten.

a) Fortlaufende Drehung zweier starrer Körper gegeneinander um wandernde Achsen. Achsenflächen und Pollinien.

Die Lagen und Lageveränderungen zweier Körper zueinander nnen stets auf den einen oder den anderen der beiden Körper resp. f das mit ihm starr verbunden gedachte Raum- und Koordinaten- stem bezogen werden. Dieser Körper erscheint dann als der ruhende. e instantane Bewegung des anderen ist dann entweder eine Drehung n eine instantane Achse, oder eine Translationsbewegung oder eine mbination zweier derartiger Bewegungen. Doch lassen sich Trans- tionsbewegungen und Drehungen, welche parallel der gleichen Ebene folgen, durch eine einzige Drehung um eine zu dieser Ebene senkrecht ehende Achse ersetzen.

Die instantane Achse hat man sich als mit beiden Körpern starr rbunden zu denken; sie kann von Augenblick zu Augenblick ihre age gegenüber den beiden Körpern ändern und beschreibt dabei in dem derselben eine besondere Achsenfläche.

In jedem folgenden Augenblick sei die Lage und Richtung der instantanen chse in dem maßgebenden Raumsystem eine andere. Da tatsächlich die Änderung r relativen Bewegung nur durch Einwirkung von Kräften zustande gebracht wird, kann die Überführung der Achse in die neue Lage nur als eine stetige Bewegung dacht werden, so daß sich streng genommen die Verschiebung der Achse in die ue Lage am Ende des ersten Augenblickes schon mit der instantanen Bewegung eses Augenblickes vollzieht. Soweit es sich um eine Bewegung der Achse als ner starren geraden Linie senkrecht zu ihrer Richtung handelt (s. Allgemeiner eil S. 45), muß sie ihre Lage beiden Körpern gegenüber ändern. Mag man en Augenblick so kurz wählen, als man will, so befindet sie sich, wenn wir uns en einen Körper ruhend, den anderen bewegt denken, beiden Körpern gegenüber m Ende des Augenblickes in einer anderen Lage als im Anfang. Dem ruhenden Körper gegenüber bewegt sie sich in einer Fläche, welche durch die Anfangslage er Achse geht; die Fläche wird zur Ebene, wenn man den Augenblick kurz genug immt.

In Fig. 134 sei A der ruhende, B der bewegte Körper, o die instantane Achse n ihrer gemeinsamen Lage zu beiden Körpern zu Beginn, o' die instantane Achse n ihrer Lage zum Körper A zu Ende einer bestimmten kleinen Bewegungsphase. Die Achse verschiebe sich zu A parallel mit sich selbst und sei von der Bildfläche enkrecht getroffen. Es drehe sich nun der Körper B während dieser Bewegungs- hase t um den Winkel φ parallel der Bildebene. Würde die Drehung in irgend inem Augenblick der Bewegungsphase in unendlich kurzer Zeit und um die Achse o rfolgen, so würde die instantane Achse am Ende der Bewegungsphase bei der age o in A mit einer Linie von B zusammenfallen, welche sich zu Beginn der Bewegungsphase noch in der Lage o gegenüber A und B befunden hat.

Denkt man sich aber die Bewegungsphase in n Unterteile τ geteilt, die Drehung abschnittweise, je am Beginn jeder Unterabteilung um die Winkelbeträge φ, φ_1, φ_2, resp. φ_n vollzogen, die instantane Drehungsachse aber gegenüber dem Körper A in der Richtung von o nach o' hin kontinuierlich verschoben, so daß ie in jedem Phasenunterteil um den gleichen Betrag $\frac{\widehat{oo'}}{n} = \lambda$ bewegt wird, so rgeben sich folgende Verhältnisse:

Am Schluß des ersten Phasenunterteils τ befindet sich die instantane Achse n Punkt a des Körpers A und an einem Punkt des Körpers B, der zu Anfang der

Bewegungsphase noch die Lage β dem Körper A gegenüber einnahm. Em Ende des zweiten Phasenunterteils τ befindet sich die instantane Achse im Punkt a_1 von A und an einer Stelle des Körpers B, die zu Anfang der Bewegung noch die Lage β_1 gegenüber A eingenommen hat usw. Da die Körper A und B in unserem Bild in ihrer Lage zu Beginn der Bewegungsphase dargestellt sind, so bedeutet o, α, α_1, α_{11} — o die Bahn, welche von der instantanen Achse im Körper A zurückgelegt wird, die Punkte o $\beta\beta_1$ β . . . . . o sind die Punkte, welche aufeinanderfolgend im Körper B von der instantanen Achse eingenommen werden. Je zahlreicher und kleiner die Unterteile sind, in welche wir die Bewegungsphase und den Akt der Drehung zerlegen, desto mehr nähert sich die von der instantanen Achse im

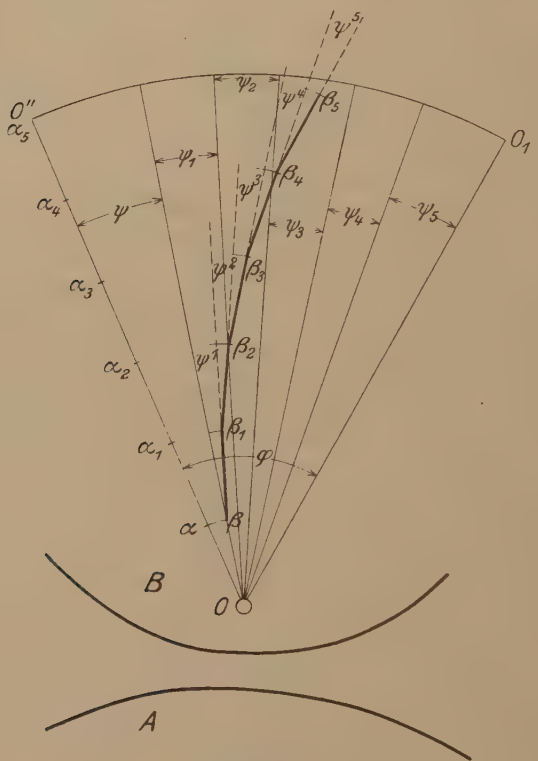


Fig. 134.

zweiten Körper B beschriebene Bahn einer ungebrochenen und ununterbrochenen Kurve; bei weiterer Verkleinerung der Unterteile und einem Fortschritt in der gleichmäßigen Verteilung der Drehbewegung auf den ganzen Zeitabschnitt ändert sich die Kurve nicht mehr wesentlich; sie kann als diejenige Bahn gelten, in welcher sich bei vollständig stetiger Drehung (und zwar eventuell auch bei bestimmter allmählicher Änderung der Geschwindigkeit der Drehung) die Achse im Körper B verschieben würde.

Diese Ableitung gilt zunächst für den Fall paralleler Achsenverschiebung. Wir haben dann in allen Ebenen senkrecht zur Achse die gleichen Verhältnisse. Die Bewegung von B gegen A geschieht in der Weise, daß sukzessive die Linie

von B mit $o\widehat{\alpha}$ von A, dann $\widehat{\beta\beta}$ mit $\widehat{\alpha\alpha}$, dann $\beta\,\widehat{\beta}$ mit $\alpha\,\widehat{\alpha}$, schließlich $\widehat{\beta_{n-1}\,.\,\beta_r}$ mit $\widehat{\alpha_{n-1}\,.\,\alpha_n}$ zusammenfällt. Wenn solches in allen Ebenen senkrecht zur instantanen Achse in gleicher Weise geschieht, so handelt es sich um eine durch $o\beta\beta_1\ldots o$ gehende, senkrecht zur Bildebene stehende Fläche des Körpers B, welche sukzessive durch oo' des Körpers A gelegten Fläche rollt. Während sich die beiden Flächen sukzessive oben einander nähern und berühren, müssen sie natürlich unten sukzessive auseinanderklaffen.

In den beiden, von der instantanen Achse in beiden Körpern beschriebenen Flächen (Achsenflächen) lassen sich beliebig viele gerade Linien finden, welche bei der Rollung der beiden Flächen aufeinander sukzessive miteinander in Berührung kommen. Die Flächenstücke zwischen diesen Linien sind Streifen, welche in Ebene ausgebreitet immer noch von parallelen Linien begrenzt sind. Die einander in der Reihenfolge entsprechenden Felder, die zu beiden Seiten zweier aufeinander rollender Linien liegen, decken sich zur Ebene ausgebreitet genau (korrespondierende Elementarfelder).

Bisher haben wir angenommen, daß die wandernde Achse in beiden Körpern eine gleiche Richtung beibehält.

Zu einer noch allgemeineren Behandlung der Drehungsbedingungen zweier Körper gegeneinander führt folgende Überlegung. Sind an zwei gegeneinander sich drehenden starren Körpern zwei Linien (mit Biegung in einer Ebene oder dreidimensionaler Biegung) bekannt, welche von einem gemeinsamen Berührungspunkt aus nach beiden Seiten stetig weiter auseinander biegen, und von denen man weiß, daß sie im Verlauf der Bewegung aneinanderrollen (Pollinien), so müssen es Linien der „Achsenflächen" sein, welche in den beiden Körpern sukzessive bei der Bewegung von der instantanen Achse beschrieben werden. Durch jeden Punkt der beiden Linien können nun senkrecht zu dem betreffenden Stück der Pollinie gerade Linien gezogen werden, wobei zwei in sehr geringer Entfernung aufeinanderfolgende Gerade in der gleichen Ebene liegen müssen und entweder parallel zueinander verlaufen oder nach einer Seite hin divergieren oder konvergieren können. Man kann sich durch diese zwei Systeme von Geraden je eine Fläche gelegt denken. In jeder Achsenfläche sind viele solche Systeme und Flächen möglich. Soll aber eine solche Fläche des einen Körpers auf der Fläche des zweiten Körpers rollen, soll also zwischen den beiden Körpern eine Bewegung möglich sein, bei welcher die instantane Achse die beiden Flächen in den beiden Körpern beschreibt, so müssen folgende Bedingungen erfüllt sein: Die beiden Flächen müssen sich anfangs in einer gemeinsamen Geraden berühren, welche durch den Berührungspunkt der beiden Pollinien geht. Von dieser Berührungslinie aus müssen die beiden Flächen nach beiden Seiten hin auseinanderklaffen und sich stetig immer mehr voneinander abwenden, und zwar muß solches zu beiden Seiten der Pollinien in gleicher Weise der Fall sein. Endlich müssen diese Geraden (Abbiegungslinien) in den beiden Flächen so verlaufen, daß die zwischen ihnen liegenden Felder jederseits von der Pollinie, in gleicher Reihenfolge von der ersten Berührungslinie aus gerechnet, zur Fläche ausgebreitet, sich vollkommen decken (korrespondierende Elementarfelder). Die Elementarfelder sind schmal zu wählen, daß innerhalb derselben die Krümmung der Fläche

eine gleichmäßige ist, sie können dann als Streifen von Zylinder- oder von Kegelmantelflächen angesehen werden, welche von geraden Seitenlinien begrenzt sind.

Die vorausgegangene Betrachtung gibt uns ein Mittel an die Hand, um jede noch so komplizierte, aus Drehungen zusammengesetzte Bewegung zwischen zwei starren Körpern in verhältnismäßig einfacher Weise zu charakterisieren und zu veranschaulichen:

1. Durch die Bestimmung (eventuell graphische Darstellung und Modellierung) der zwei Achsenflächen, welche die instantane Achse in den beiden Körpern beschreibt; und einer Anzahl korrespondierender Berührungs- oder Abbiegungslinien dieser Flächen, oder

2. durch die Bestimmung und Darstellung zweier Paare korrespondierender Pollinien in beiden Körpern und einer genügenden Anzahl korrespondierender Punkte in jedem Pollinienpaar, die sukzessive und in beiden Paaren gleichzeitig aufeinander treffen.

Die Charakterisierung der Drehbewegung zweier starrer Körper gegeneinander durch Achsenflächenpaare ist von Poinsot begründet, und namentlich durch Reuleaux in der Maschinenlehre mit Erfolg verwendet worden. Sie bildet ein außerordentlich wertvolles Hilfsmittel der Kinematik. Sie kann auch in der Lehre von der Gelenkbewegung mit Vorteil verwendet werden, wie namentlich Zuppinger zuerst (1904) gezeigt hat.

Die Bewegung der zwei Achsenflächen aneinander ist eine richtige Aufrollung resp. Abrollung derselben aneinander. Solange die beiden Körper sich nicht berühren, oder auch wenn man annehmen dürfte, daß sie sich wie rein geometrische starre Figuren gegenseitig durchdringen können, ist für die Beschaffenheit dieser Flächen ebenso wie für die Art der Bewegung der Körper gegeneinander innerhalb der angegebenen Bedingungen sozusagen keine Beschränkung vorhanden. Anders liegen die Verhältnisse, wenn die starren Körper sich nicht durchdringen können, wenn sie sich berühren und beim Fortgang der Bewegung miteinander in mindestens einem Punkte oder einer geraden Linie oder in einer Ebene in Berührung bleiben sollen. Die hier vorhandenen eingeschränkten Möglichkeiten für die Bewegung und für das Verhalten der Achsenflächen sollen alsbald genauer besprochen werden.

b) Die Bewegung zweier starrer Körper aneinander unter Beibehaltung des Kontaktes.

α') Gleiten und Drehgleiten.

Kongruentes Gleiten. Im ersten Bande dieses Lehrbuches (Allgemeiner Teil S. 95 u. ff.) wurden die Bedingungen und Möglichkeiten des kongruenten Gleitens erläutert. Es kann stattfinden zwischen Oberflächen, die vollkommen zusammenfallen, und gleichsam aus lauter parallelen Linien oder aus lauter Kreisen mit gemeinsamer Achse oder aus Schraubenlinien mit gemeinsamer Achse und gleicher Steigung gebildet sind. In diesen Geraden, Kreisen oder Schrauben-

nien findet eine gegenseitige Verschiebung statt, soweit für jeden der beiden Körper die Bahn, eine Gleitbahn zur Bewegung gegenüber dem anderen Körper, zur Verfügung steht und von Hindernissen frei ist. Hier kann man beliebig den einen oder anderen Körper als den ruhenden ansehen, der die Gleitbahn liefert, und den anderen Körper als den bewegten, gleitenden. In der Regel ist aber die Gelenkfläche des einen Körpers weniger ausgedehnt als diejenige des anderen. Man ist dann geneigt, bloß die ausgiebigere Bahn als Gleitbahn zu bezeichnen und von dem anderen Körper als dem gleitenden Körper zu sprechen.

Ein solches einseitiges Gleiten eines Körpers mit einer kleinen Berührungsfläche auf einer größeren Gleitfläche des anderen Körpers kommt nun ganz besonders in Betracht bei Gelenkkörpern, die einander inkongruente Flächen zuwenden. Die Bewegung des einen Körpers am anderen ist solange eine reine Gleitbewegung, als die Berührungsfläche des gleitenden Körpers dieselbe bleibt. Sobald aber die Berührung der beiden Körper nur in einer geraden Linie oder in einem einzigen Punkte statthat, ist erstens zwischen ihnen außer der Gleitbewegung auch eine Rollung, d. h. eine Drehung um die jeweilige Berührungslinie oder um eine Tangente des Berührungspunktes mit gleichzeitiger Verschiebung der Berührungsstellen an beiden Körpern möglich, zweitens eine reine Gleitbewegung, bei welcher der Berührungspunkt resp. die Berührungslinie nur am Gleitbahnkörper wandert, am gleitenden Körper dagegen unverändert bleibt. Eine solche Gleitbewegung kann dann aber auf zwei ganz verschiedene Weisen ausgeführt werden, je nachdem der Körper A am Körper B oder aber der Körper B am Körper A entlang gleitet.

(Wir können füglich die Vereinbarung treffen, daß wir immer denjenigen Körper als den gleitenden bezeichnen, dessen Kontaktpunkte die gleichen bleiben; die Gleitbahn wird dann jeweils vom anderen Körper geliefert). Ist die Gleitbahn gekrümmt und erfolgt die Bewegung des gleitenden Körpers entlang bestimmten Krümmungsprofilen derselben, so ist mit dem Gleiten eine Drehung um die zugehörige Krümmungsachse verbunden (einseitiges Drehgleiten des einen Körpers entlang der Oberfläche des anderen Körpers).

Bei breitem Kontakt, wenn die beiden gegeneinandersehenden Oberflächen kongruent und um die gleiche Krümmungsachse gekrümmt sind, kommt es nicht darauf an, ob bestimmte Berührungspunkte von A sich an der Fläche von B, oder bestimmte Punkte von B sich an der Fläche von A verschieben. Ob wir den einen oder den anderen Körper als den bewegten und gleitenden ansehen, die Drehung geschieht dabei um die gleiche Achse, die gemeinsame Achse der Krümmung der beiden Kontaktflächen. Wenn aber die beiden gegeneinandersehenden Flächen von einer engen Berührungsstelle aus auseinanderklaffen und um verschieden gelegene, wenn auch parallele Achsen gekrümmt sind, handelt es sich um ganz verschiedene Bewegungen, je nachdem der Körper A entlang der Oberfläche von B, parallel der Ebene der Krümmung, oder der Körper B entlang der Oberfläche von A, parallel der gleichen Ebene gleitet und sich dreht. Die Drehung der beiden

Körper gegeneinander geschieht in den beiden Fällen um ganz verschiedene Drehungsachsen.

Es soll dies im folgenden durch einige Beispiele erläutert werden.

1. Drehgleiten zwischen einem Zylinder und einer Ebene, welcher der Zylinder mit seiner Mantelfläche anliegt. Das Drehgleiten kann entweder so geschehen, daß der Zylinder mit der gleichen Seitenlinie der Ebene anliegend bleibt und ihr entlang wandert (Fig. 135 I); die Ebene ist dann die Gleitbahn. Oder es geschieht so, daß der zweite Körper, dem die ebene Grenzfläche angehört, immer mit der gleichen Geraden den Zylinder (natürlich in einer Seitenlinie) berührend, um denselben herumwandert, wobei der Zylindermantel die Gleitbahn darstellt

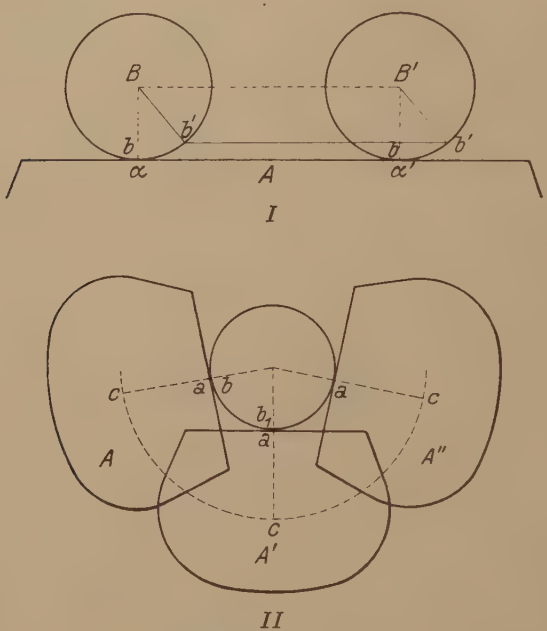


Fig. 135 *I* und *II*.

(Fig. 135 II). Im ersten Fall handelt es sich (wenn wir von der Bewegung in der Längsrichtung des Zylinders absehen) um eine Drehung zwischen den beiden Körpern um eine in unendlicher Entfernung von der Berührungsstelle an der Seite des Gleitbahnkörpers gelegene Drehungsachse (Gleiten ohne Drehung), im zweiten Fall um eine Drehung um eine Achse, welche mit der Längsachse des Zylinders zusammenfällt (Drehgleiten).

2. Auch zwischen zwei Zylindern oder zwei Kegeln A und B, welche sich in Seitenlinien berühren, können zwei verschiedene Arten des Drehgleitens stattfinden, je nachdem B um A oder A um B herumwandert. Im ersten Fall (Fig. 136 I) findet die Drehung um die Achse von A, im zweiten Fall (Fig. 136 II) um die Achse von B statt; die zwei Arten relativer Bewegung sind völlig voneinander verschieden.

3. Es kann auch ein schmalerer Zylinder (Kegel) im Inneren eines größeren Hohlzylinders oder Hohlkegels der Wand entlang gleiten, ohne daß seine eigene Berührungslinie sich ändert. Die relative Bewegung ist dann ein

rehgleiten um die Achse des Hohlzylinders resp. Hohlkegels (Fig. 137 I). Andererits kann der Hohlzylinder um den schmaleren Innenzylinder herumwandern, ıne daß seine eigene Berührungsfläche sich ändert; das Drehgleiten geschieht ınn um die Achse des schmalen Zylinders resp. Kegels (Fig. 137 II).

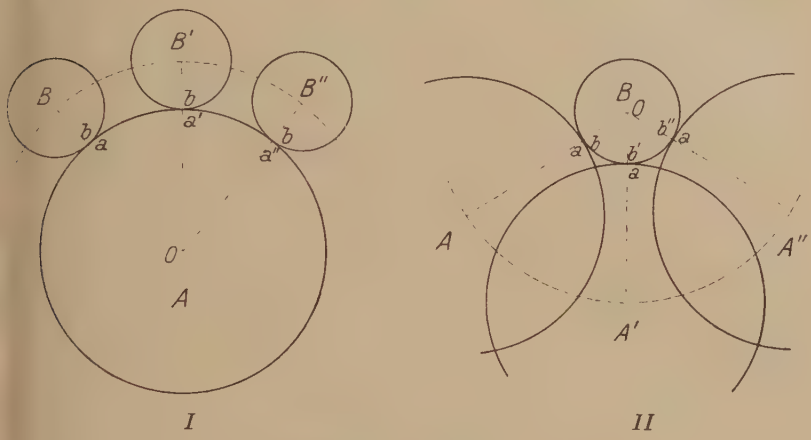


Fig. 136 *I* und *II*.

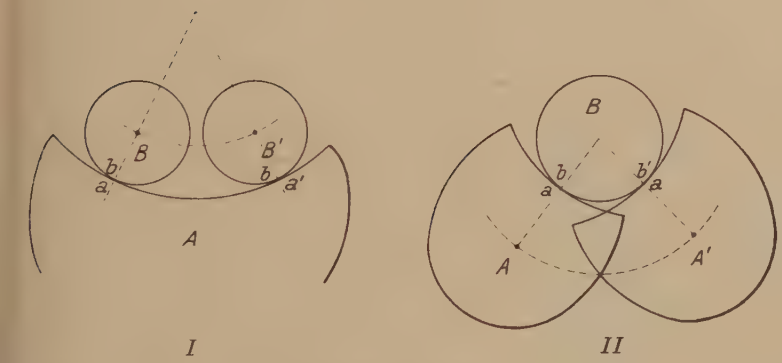


Fig. 137 *I* und *II*.

4. Ein Drehgleiten ist unter Umständen auch dann möglich, wenn die Bahn es umwanderten Körpers nicht eine regelmäßig gekrümmte Zylinder- oder Kegelfläche darstellt, sondern aus verschiedenen gekrümmten von geraden Seitenlinien begrenzten Längsabschnitten solcher Flächen zusammengesetzt ist. Die Achse, um welche sich der wandernde Körper dreht, ändert also hier in diesem Allgemeinen Fall ihre Lage dem wandernden Körper gegenüber, aber natürlich auch zugleich gegenüber dem Gleitbahnkörper.

In einem solchen Fall, bei wechselnder Krümmung der umwanderten Fläche, verschieben sich die instantanen virtuellen Drehungsachsen in jedem der beiden Körper in einer ganz bestimmten, mit ihm starr verbundenen Achsenfläche. Die beiden Achsenflächen rollen bei der Be-

wegung aufeinander. Die jeweilige Berührungslinie der beiden Achsenflächen ist die jeweilige instantane Drehungsachse. Dieselbe muß im umwanderten Körper immer in derjenigen Ebene liegen, welche auf der jeweiligen Berührungsfläche desselben senkrecht steht, also durch die Mittelpunkte der betreffenden Krümmungsabschnitte geht, und muß mit diesen Mittelpunkten zusammenfallen. Die genannte Ebene steht aber auch jeweils senkrecht auf der Berührungsfläche des wandernden Körpers und verändert ihre Lage zu letzterem in den verschiedenen Stellungen nicht, solange es sich bloß um Drehgleiten und nicht um Rollung handelt. Die in ihr gelegene instantane Achse hat aber je nach der Stellung und der Krümmung der berührten Stelle des umwanderten Körpers eine verschiedene Entfernung von der Berührungsstelle.

Daraus ergibt sich, daß ganz allgemein bei einseitigem Drehgleiten die Achsenfläche des wandernden Körpers eine Ebene sein muß, welche auf der unveränderten Berührungsstelle senkrecht steht; die instantane Achse wandert in dieser Ebene gegen die Berührungsstelle hin oder von ihr weg. Die Achsenfläche des umwanderten Körpers aber, dessen Gleitfläche eine in der Richtung der Gleitbewegung abändernde Krümmung zeigt, ist selber eine gekrümmte Fläche, welche durch die Mittelpunkte resp. Achsen der verschiedenen Teile der Krümmung geht. In ihr wandert die instantane Achse so, daß sie jeweilen mit der Krümmungsachse der berührten Stelle zusammenfällt. Sie kann als Evolutenfläche bezeichnet werden, die Achsenebene des wandernden Körpers als Evolventenebene.

Beschränkt man sich auf die Betrachtung einzelner Punkte des wandernden Körpers und auf die Profile der Gleitbahn, denen sie in steter Berührung entlang wandern, so kann man von einem Pol der Drehung und von den Pollinien oder Polbahnen sprechen, welche von den Polen (Drehungsmittelpunkten) gegenüber dem wandernden und dem Gleitbahnkörper beschrieben werden.

Die Polbahn ist für den wandernden Körper die senkrecht zum Profil der Gleitbahn (und auch zum anliegenden Profil des wandernden Körpers) im Berührungspunkt errichtete Gerade (Normale). Die Polbahn im Gleitbahnkörper ist im allgemeinen eine Kurve in der Ebene des Profils der Gleitbahn. Bei komplaner Bewegung (mit parallelbleibenden Achsen) liegen die vom gleichen Punkt des wandernden Körpers aufeinanderfolgend benutzten Teile der Gleitbahn in der gleichen Ebene, die zur Achse senkrecht steht, und es liegt auch die Polbahn des Gleitbahnkörpers in dieser Ebene.

Die Polkurve des umwanderten Körpers ist die Evolute, die gerade Pollinie des wandernden Körpers die Evolvente. Bei der Drehung wickelt sich die Evolvente an der Evolute ab.

Unter der Voraussetzung, daß bei der reinen Beuge- und Streckbewegung im Kniegelenk immer dieselben Stellen der Tibiakondylen mit den Hauptprofilen der Femurkondylen in Berührung sind, haben wir in dieser Bewegung ein schönes Beispiel für ein Drehgleiten entlang einer Fläche mit ungleichförmiger Krümmung. Die Tibia ist dabei der wandernde Körper, die Femurkondylen stellen den umwanderten

Teil, die Gleitbahn dar. Die Achsenebene der Tibia entspricht ungefähr einer mittleren bilateralen Längsebene derselben. Im Femur liegen die Mittelpunkte der verschiedenen Krümmungsabschnitte der in Betracht kommenden Hauptprofile der beiden Kondylen in den Ebenen der Hauptprofile, in einer Polkurve, welche von vorn oben nach hinten unten absteigt und dabei mehr und mehr nach hinten, ja zuletzt etwas nach oben umbiegt und sich gewissermaßen etwas einrollt. In Fig. 138 ist ein Hauptprofil schematisch durch die Punkte $\beta\ \beta_1\ \beta_2\ \beta_3$ dargestellt. Die Punkte $0\ 0_1\ 0_2\ 0_3\ \ldots$ sind die Mittelpunkte der entsprechenden

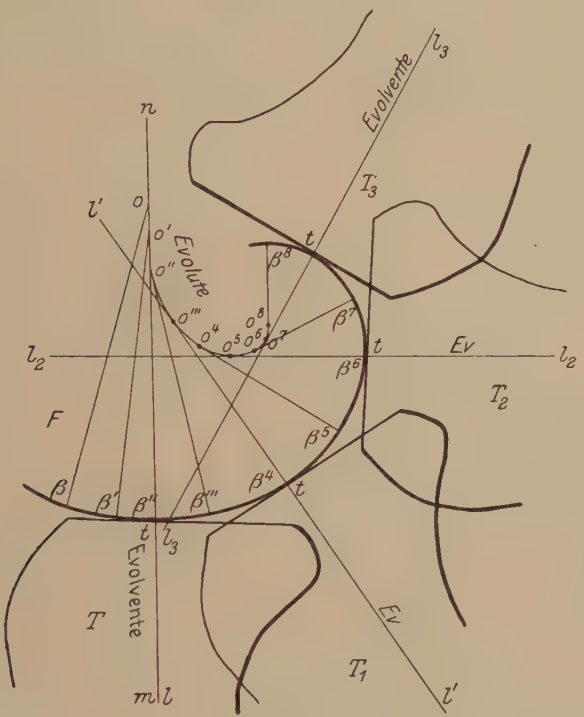


Fig. 138.

Krümmungen. Die von diesen Punkten gebildete Kurve ist also die im Femur gelegene Polbahn des betreffenden Hauptprofils; die Gerade m n aber ist die Polbahn der Tibia für diese Hauptebene. Bei dem Drehgleiten der Tibia an dem Femur wickelt sich die Polbahn der Tibia von derjenigen des Femur nach vorn zu ab, bei der Beugung aber geschieht die Abwicklung (resp. Aufwicklung) in umgekehrter Richtung. Die gebogene Polbahn ist die Evolute, die geradlinige die Evolvente.

Ähnliches geschieht in der Ebene des anderen Hauptprofils des Femurendes. Es handelt sich ja um die Auf- resp. Abwicklung einer

ganzen Achsenebene der Tibia (Evolventenebene) an einer gekrümmten Achsenfläche (Evolutenfläche) des Femur. Wir werden bald sehen, ob die zugrunde liegende Voraussetzung wirklich zutrifft.

β') Rollbewegung.

Von dem Drehgleiten gänzlich verschieden ist anscheinend eine zweite Art der Bewegung zweier starrer Körper aneinander, die Rollbewegung.

Reine Rollung. Das Charakteristische der Rollbewegung beruht darin, daß der rollende Körper sich in jedem Augenblick der Bewegung um die (in der Richtung der Bewegung) vorderste Grenze seiner Berührungsfläche mit dem zweiten Körper nach vorn dreht, wobei sich die Berührungsfläche in der Richtung des Rollens verschiebt. Die maßgebende vordere Grenze der Berührungsfläche, um welche als Achse die Drehung stattfindet, muß natürlich eine gerade Linie sein. Es ist ohne weiteres klar, daß die gegeneinander rollenden Flächen nichts anderes sein können als die korrespondierenden Achsenflächen selbst. Wo Oberflächen starrer Körper aufeinanderrollen, ergibt sich ferner folgende Beschränkung:

1. Die Flächen müssen von der jeweiligen Berührungsfläche aus nach beiden Seiten in fortschreitender Richtungsänderung auseinanderklaffen.

2. Wo die aufeinanderfolgenden korrespondierenden Berührungslinien divergieren resp. konvergieren, dürfen sie sich nicht innerhalb der Abrollungsflächen schneiden.

3. Die aufeinanderrollenden Flächen müssen die am meisten direkt gegeneinander vorragenden Oberflächen der beiden Körper sein.

Wir werden im folgenden sehen, daß die Rollung sich als eine Kombination der beiden Formen des einseitigen „Drehgleitens" auffassen läßt.

γ') Kombinierte Bewegungen.

Wir haben bis jetzt nur den Fall berücksichtigt, daß ein Körper, der auf einem anderen gleitet, letzteren stets mit den gleichen, nahe beisammen liegenden Punkten berührt und sich nur soweit dreht, als der Krümmung der Gleitfläche entspricht. Entweder gleitet in dieser Weise A an B oder B an A. Man kann diese Bewegung genauer als einfaches einseitiges Drehgleiten bezeichnen. Nun muß aber auch der Fall des kombinierten oder reziproken einseitigen Drehgleitens in Betracht gezogen werden, bei welchem gleichzeitig der Körper A entlang dem Körper B und der Körper B entlang dem Körper A für sich allein eine reine einseitige Drehgleitung ausführt. Das Resultat einer solchen Doppelbewegung ist immer entweder eine reine Rollung oder eine bestimmte Kombination von Rollung und Drehgleiten.

Die Hauptfälle dieser Doppelbewegung sollen etwas genauer analysiert werden (s. die Fig. 139). Die beiden Gleitbewegungen und die damit verbun-

nen Drehungen sollen parallel einer und derselben Ebene stattfinden. Für einen stimmten Abschnitt der Bewegung finde beim Gleiten von B an A eine Drehung n eine zu A feststehende Achse im Betrage des Winkels ψ statt; beim gleichitigen Drehgleiten von A an B eine Drehung um eine zum Körper B feststehende

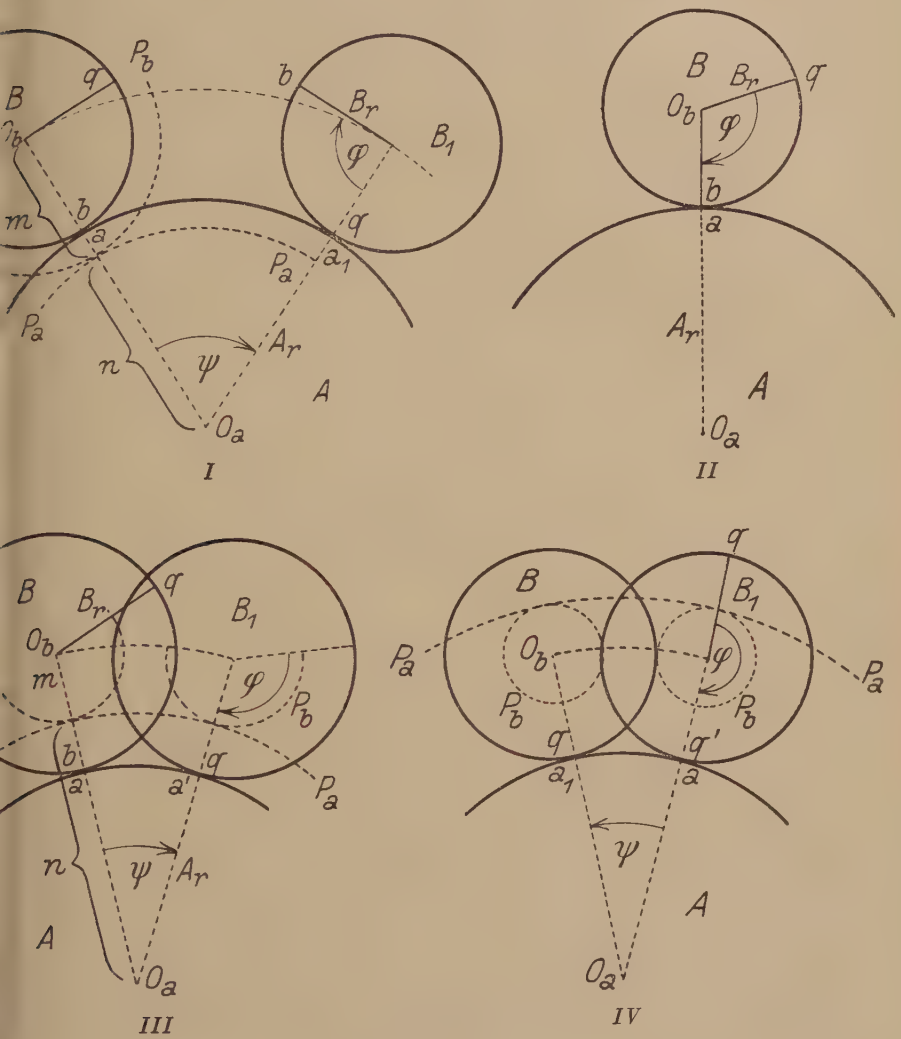


Fig. 139 *I—IV*.

chse im Betrage φ. Die Drehungen sind positiv angenommen, wenn sich dabei der Projektion auf die Bildfläche die Körper A oder B im Sinne des Uhrzeigers rehen.

Erster Hauptfall: φ und ψ beide positiv oder beide negativ (Fig. 139 u. III). Der Körper B rückt erstens nach B_1 unter Beibehaltung der Berührungs-

linie b. Dies entspricht einer Drehung von B um die Krümmungsachse von A um den Betrag ψ im Sinn des Uhrzeigers. Wenn ψ die Bogenlänge bei einem Radius 1 angibt, so gleitet B an der Oberfläche von A über eine Bogenstrecke, die gleich ist ψ mal dem Krümmungsradius der Gleitfläche von A oder kurz ausgedrückt gleich $\psi \,.\, A_r$. Zweitens dreht sich B gleichzeitig um seine eigene Krümmungsachse um den Winkel φ im Sinn des Uhrzeigers. Dies entspricht einem Drehgleiten von A entlang B. Infolge davon ändert sich die Berührungslinie von B. In der Lage B^1 ist nicht mehr b, sondern q Berührungspunkt. Der Berührungspunkt wandert in der Gleitfläche von B über einen Bogen, der $= \varphi$ mal dem Krümmungsradius von B oder kurz ausgedrückt $= \varphi \,.\, B_r$ ist. Wenn sich B in einem bestimmten Augenblick zugleich um die Achse O_A und um die Achse O_B und zwar im Verhältnis $\psi : \varphi$ dreht, so entspricht das Resultat einer einzigen Drehung um eine instantane Achse, die zwischen O_A und O_B gelegen ist und deren Abstände n und m von diesen beiden Achsen sich verhalten wie $\varphi : \psi$. $n \,.\, \psi = m \,.\, \varphi$ und $m + n$ ist selbstverständlich $= A_r + B_r$.

Dies gilt in gleicher Weise für jeden folgenden Augenblick der Bewegung. Die instantanen resultierenden Achsen liegen mit Bezug auf den Körper A in einer Achsenfläche resp. einer Polkurve P_a, welche sich im Abstand n um O_a herumkrümmt, mit Bezug auf den Körper B in einer Achsenfläche resp. Polbahn P_b, welche sich im Abstand m um O_b herumkrümmt. Bei der Bewegung rollt P_b auf P_a und umgekehrt. Es sind dann drei Unterfälle möglich:

1. $\varphi \,.\, B_r < \psi A_r$. Hier ist $n < A_r$ und $m > B_r$. Die instantane Achse liegt jeweils im Körper A (Fig. 139 I).

2. $B_r \,.\, \varphi = A_r \,.\, \psi$. Hier ist $B_r = m$ und $A_r = n$. Die instantane Achse fällt mit der jeweiligen Berührungslinie zusammen. Die Körper B und A rollen aufeinander (reine Rollung) (Fig. 139 II).

3. $\varphi \,.\, B_r > \psi \,.\, A_r$. Hier ist $m < B_r$, $n > A_r$. Die instantane Achse (Berührungslinie der Achsenflächen P_b und P_a) liegt jeweils im Körper B (Fig. 139 III).

Zweiter Hauptfall: $\psi = 0$. Es findet nur eine Drehung von B um O_b statt, um den positiven Betrag φ. Dies entspricht einem einseitigen Drehgleiten von A an B um den Drehungswinkel φ. Ist dagegen $\varphi = 0$, so handelt es sich um einfaches einseitiges Drehgleiten von B an A.

Dritter Hauptfall: φ positiv, ψ negativ. Mit einer Drehung von B im Sinn des Uhrzeigers, um O_b verbindet sich ein Drehgleiten an A (Drehung um O_a in entgegengesetztem Sinn) (Fig. 139 IV).

$n \,.\, \psi$ kann nur $= m \,.\, \varphi$ sein, wenn n ebenfalls negativ ist. Die instantane Achse liegt nicht zwischen O_a und O_b, sondern jenseits O_b. Die Polkurve P_b rollt innen (unten) auf der Polkurve P_a.

Ganz analog ist der Fall, in welchem ψ positiv, φ dagegen negativ ist.

Es sei daran erinnert, daß auch bei der Fortbewegung einer Billardkugel letztere sich in der Weise um sich selbst drehen kann, daß die untere Peripherie vorn herum nach oben geht. Auch Gelenkkörper können in dieser Weise aneinander gleiten. In all den besprochenen Beispielen kann die resultierende Bewegung von B auf A zerlegt werden in 1. die reine Rollbewegung auf A, 2. die übrig bleibende Gleitbewegung, die je nach der Krümmung der Gleitfläche mit mehr oder weniger Drehung verbunden ist und in der einen oder anderen Richtung vor sich gehen kann. Für eine allgemeine Behandlung des Problems ist aber die obige Betrachtungsweise vorzuziehen.

Sind z. B. φ und ψ positiv und $\varphi \,.\, B_r < \psi \, A_r$, so läßt sich die Bewegung auffassen als eine reine Rollung, durch welche der Berührungspunkt um die Strecke $\varphi \,.\, B_r$ zugleich an A und an B verschoben wird und ein damit kombiniertes reines Drehgleiten um O_a, durch welches der Berührungspunkt allein an A um die Strecke $\psi A_r - \varphi \,.\, B_r$ verschoben wird usw.

Ist die Kontaktfläche nur des einen Körpers konvex, diejenige des anderen dagegen eben oder konkav, so sind ebenfalls noch innerhalb gewisser Grenzen Kombinationen zwischen einfachem einseitigem Drehgleiten und Rollbewegung möglich, sofern die beiderseitigen Kontaktflächen noch klaffen resp. sich nur in wenigen nahe beisammen oder nebeneinander liegenden Punkten berühren. Auch hier lassen sich die möglichen Bewegungen ebensogut als Kombinationen zwischen den zwei möglichen einseitigen reziproken Drehgleitungen auffassen.

2. Drehgleiten und Rollbewegung im Kniegelenk.

Nach den vorangegangenen theoretischen Darlegungen können wir die Frage herantreten nach der Art und Weise, in welcher im Kniegelenk bei der Beugung und Streckung Drehgleiten (Wandern der Tibia der Femurrolle) mit Abrollung kombiniert ist.

Die Gebrüder Weber (1836) erkannten zuerst aus den Verhältnissen des Bänderpräparates, daß bei der Beugung und Streckung im Kniegelenk eine Kombination von Drehgleiten und Rollbewegung in Betracht kommt. Sie verglichen die Bewegung der Femurkondylen mit derjenigen eines unvollkommen (durch Bremsen) gehemmten Rades. In welcher genaueren Weise beide Arten der Bewegung sich kombinieren,

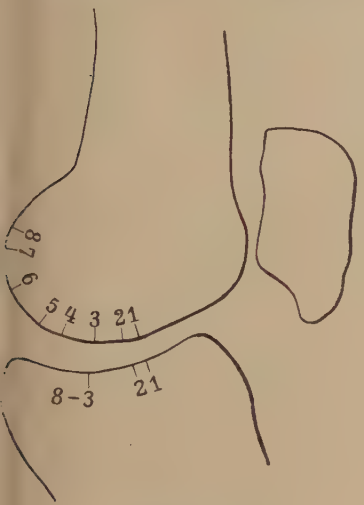


Fig. 140.

Fig. 141.

hat erst Langer (1858) angedeutet. Diese Frage ist dann durch Zuppinger (1904) und namentlich durch O. Fischer (1907) in seinem Lehrbuch der Kinematik der organischen Gelenke noch weiter behandelt worden.

Wie O. Fischer hervorhebt, hat schon Langer erkannt, daß im Anfang der Beugebewegung der Mittelpunkt der hier besonders umfänglichen Kontaktstelle der Tibia mit dem Femur an der Tibia nach hinten rückt. Ob es sich dabei um reine Rollung handle, könne aus den Langerschen Befunden nicht mit Sicherheit erschlossen werden.

„Die Langersche Untersuchung der Flexionsbewegung am Knie ist ausschließlich an Gelenkpräparaten ausgeführt worden. Wenn nun auch die gegenseitige Verschiebung der Gelenkflächen bei der ebenen Flexion schon am Präparat in zwangläufiger Weise vor sich geht, so mußte es doch wünschenswert sein, die Ergebnisse am lebenden Menschen bestätigt zu finden."

„Eine derartige Bestätigung ist durch eine Reihe von Röntgenaufnahmen des Kniegelenkes in verschiedenen Flexionsstellungen möglich geworden, welche

„in neuerer Zeit von H. Zuppinger sowohl von der medialen als auch der lateralen „Seite her ausgeführt worden sind. Diese Röntgenbilder führen in der Tat auch „zu dem Ergebnis, daß die zum Oberschenkel relative Beugebewegung des Unter„schenkels so vor sich geht, daß im Anfang die Gelenkfläche des Schienbeins auf der „des Oberschenkelbeins rollt, von einer bestimmten Beugestellung aus dagegen „nur gleitet. Die Gelenkstellung, in welcher die Rollbewegung von der Gleitbe„wegung abgelöst wird, gehört nach Zuppinger auf der medialen Seite des Ge„lenkes zu einem Beugungswinkel von 10—15°, auf der lateralen Seite dagegen „zu einem solchen von 25—30°. Es dauert also demnach das anfängliche reine Rollen „lateral merklich länger als medial."

O. Fischer hat nun die von Zuppinger veröffentlichten Kopien der Röntgenaufnahmen genauer analysiert. Wir reproduzieren nebenstehend die zwei diesbezüglichen Figuren 55 und 58 von O. Fischer. Fig. 140 gibt die korrespondierenden Berührungspunkte im medialen, Fig. 141 gibt sie für das laterale Gelenk. Es bestätigt sich, daß von der

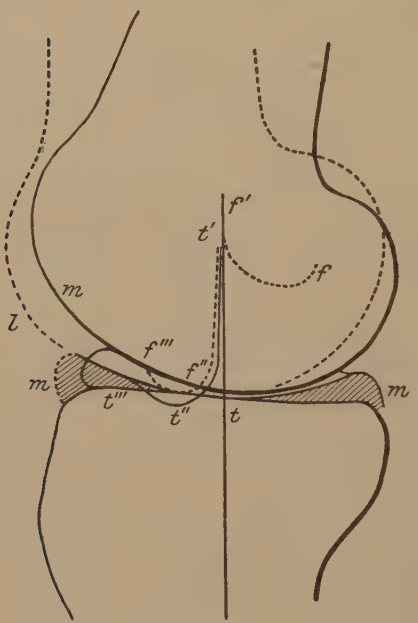


Fig. 142.

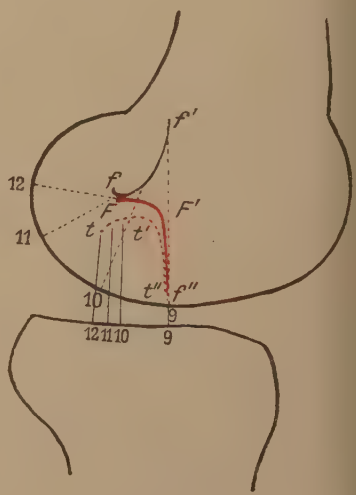


Fig. 143.

Streckstellung aus bis gegen 10° Beugung auf der medialen Seite hauptsächlich Rollen, verbunden mit etwas Drehgleiten der Tibia nach hinten, über 10° Beugung hinaus aber reines Drehgleiten stattfindet. Der Berührungspunkt schreitet hier nur bis zur dritten von acht Bewegungsphasen an der Tibia nach hinten fort und behält dann für alle anderen Phasen seinen Ort bei. Am lateralen Condylus der Tibia hinwieder wandert der Berührungspunkt anfänglich bis zu 20° Beugung rascher, dann langsamer, aber während der ganzen Beugebewegung stetig nach hinten.

ie Rückwärtsrollung dauert also jedenfalls auf der lateralen Seite nger an, als auf der medialen. Die Bewegung ganz im Beginn der eugung ist noch nicht genügend genau geometrisch festgestellt.

Bei dem reinen Drehgleiten muß die Drehungsachse jeweils durch e Punkte gehen, in welchen die Normalen der Berührungsstellen r Tibia die Pollinien (Evoluten) der beiden Hauptprofile der murkondylen berühren, bei der reinen Rollung aber durch den Berührungspunkt zwischen dem Hauptprofil des Femurcondylus und dem tsprechenden Profil der Tibia. Wo sich Drehgleiten der Tibia mit ollung nach der gleichen Seite kombiniert, muß die resultierende hse der Drehung durch irgend einen Punkt gehen, welcher zwischen n jeweiligen Achsenpunkten des reinen Drehgleitens und der reinen ollung gelegen ist. Insofern nun an der medialen Seite das reine ehgleiten bei der Streckung über 10° Beugung hinaus ziemlich plötzh in fast reine Rollung übergeht, muß die Drehungsachse aus ihrer chsten Lage in der Evolute des medialen Hauptprofiles zur Berühngslinie im Gelenk hinabsteigen; ja, da weiterhin mit der Streckung nigstens zeitweise ein Rückgleiten der Tibia am medialen Femurndyl einhergeht, so muß die Drehungsachse sogar vorübergehend terhalb der Berührungsstelle vorbeigehen. Daß das Absteigen der hse an der medialen Seite völlig momentan und sprunghaft geschieht, allerdings nicht anzunehmen. Danach habe ich in Fig. 142 die Polien für die Bewegung zwischen den medialen Kondylen konstruiert. ür den ersten Teil der Streckung verhalten sich die Pollinien, wie lches auf S. 134 (nach Bugnion) und weiter in Fig. 138 unter Anhme des reinen Drehgleitens dargestellt worden ist. Für die drei tzten von acht Phasen der Streckung aber geht die Pollinie der Tibia n t′ durch t″ nach t‴ und die Pollinie des Femur von f′ durch f″ ach f‴.

In wesentlich anderer Weise müssen an der lateralen Seite die irklichen Pollinien von den Pollinien der reinen Drehgleitung abweichen. Fig. 143 sei ff′ die Evolute des Hauptprofils, soweit es für die Bewegung r Tibia in Betracht kommt. Da bei der Streckung mit dem Drehiten der Tibia nach vorn in allmählich zunehmendem Verhältnis. ollung nach vorn verbunden ist, so muß die Lage der Achse im Femur den Normalen des Hauptprofils, welche bis zur Evolute gehen, nach rn zu immer weiter von der Evolute entfernt sein, um zuletzt ganz das Hauptprofil selbst hinabzurücken.

Die wirkliche Pollinie für die Bewegung zwischen den beiden lateilen Kondylen kann also sehr wohl im Femur einen Verlauf nehmen, ie die rote ausgezogene Linie F, F′, f″ unserer Figur. In der Tibia rschiebt sich die Achse sukzessive aus der Normalen über dem Punkt in die Normalen der Punkte 11, 10 und 9. Die wahre Pollinie der bia hat also vielleicht einen Verlauf, wie ihn die Linie t, t′, t″ unserer gur zeigt. Bei der Beugung und Streckung rollen die beiden Pollinien einander.

Jedem Augenblick der Bewegung zwischen Femur und Tibia entricht eine bestimmte Lage der effektiven Drehungsachse, welche durch

die korrespondierenden Berührungspunkte der beiden lateralen und der beiden medialen Pollinien bestimmt ist. Durch die Gesamtheit der Lagen der Achse im Femur und gegenüber der Tibia werden die beiden Achsenflächen bestimmt, welche sich bei der Bewegung aneinander abwickeln. Es ist klar, daß dieselben stark asymmetrisch zur Halbierungsebene des Kniegelenkes sein müssen.

Aus den Daten von Zuppinger und O. Fischer geht hervor, daß bei einer Beugung von 85—10° innen reines Drehgleiten, außen Drehgleiten mit etwas Rollung zu beobachten ist. Hier steht die Achse innen höher als außen (Fig. 144).

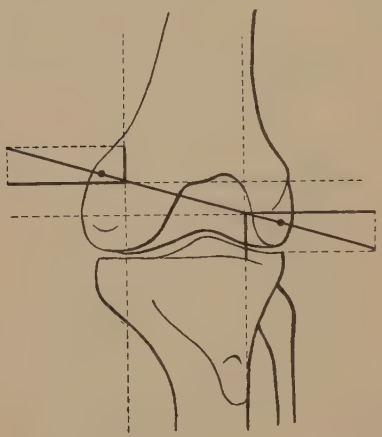


Fig. 144.

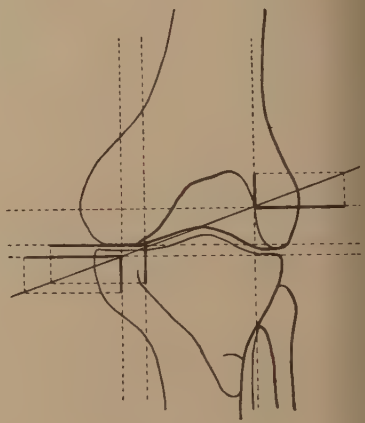


Fig. 145.

Bei solcher schräger Stellung der instantanen Drehungsachse ist es natürlich erlaubt, die Drehung aufzufassen als Kombination zweier Drehungen, einer Drehung um eine Querachse des Femur und einer Drehung um eine Längslinie des Unterschenkels, und zwar ist mit der Streckung eine Auswärtsrotation, mit der Beugung eine Einwärtsrotation des Unterschenkels kombiniert.

Zuppinger verlangt, daß man die Achse der Längsrotation durch den lateralen Condylus lege (Fig. 144). Andere haben sie in den medialen Condylus gelegt (Fig. 144). O. Fischer weist mit Recht darauf hin, daß bei richtiger, entsprechender Wahl der Querachse die eine Auffassung so gut wie die andere berechtigt ist. Es kann in der Tat jeder beliebige Punkt der Achse der resultierenden Drehung als Schnittpunkt der Achsen der beiden Partialdrehungen angenommen werden.

Für die Stellungen von 10° Beugung an bis gegen 0° Beugung liegen, nach den Daten von Zuppinger und Fischer, die Verhältnisse für den Verlauf der instantanen Achsen anders. An der lateralen Seite nimmt hier mit der Streckung die Rollung relativ immer noch zu, bleibt aber mit Drehgleiten nach vorn kombiniert. An der medialen Seite

er tritt von 10° Beugung an plötzlich fast reine Rollung auf, ja Rollung mbiniert mit Rückgleiten der Tibia. Danach müßten die instantanen hsen jetzt außen immer noch oberhalb der Berührungsstelle liegen, en aber durch die Berührungsstelle des Hauptprofils oder unter rselben vorbeigehen, wie solches in Fig. 145 dargestellt ist. Die in-ntanen Achsen verlaufen hier also schräg von außen oben nach innen ten; mit der Streckbewegung der Tibia würde etwas Einwärtsrota-n verbunden sein.

Dies entspricht nun nicht der von H. v. Meyer zuerst beschrie-nen sog. Schlußrotation im Kniegelenk; denn bei letzterer ver-ndet sich die letzte Streckung des Unterschenkels mit Auswärts-ation, die resultierende Drehungsachse steigt schräg nach außen ab. r diese Schlußrotation geben die Daten von Zuppinger und Fischer ne genügenden Anhaltspunkte. Neue genauere Röntgenaufnahmen nnten vielleicht diesen Punkt aufklären.

Nach W. Braune und O. Fischer würde noch am Schluß der reckbewegung mit je 1° Drehung um irgend eine Querachse ca. $^1/_2{}^0$ ehung um irgend eine Längsachse verbunden sein. Nach unseren obachtungen am Bänderpräparat ist aber die allerletzte noch mög-he Bewegung eine Schlußrollung nach vorn um eine quere Be-hrungslinie, verbunden mit Kompression der Vorderränder der Menisci, ährend eine gleichzeitige Längsrotation schon nicht mehr möglich ist.

Als wesentliches Ergebnis der vorstehenden Betrachtungen ver-ent hervorgehoben zu werden, daß der Gang der Bewegung im Knie-lenk aus der Gestalt der Gelenkflächen allein, ihren Hauptprofilen d deren Evoluten resp. Evolventen nicht genügend sicher beurteilt erden kann, indem die Bewegung kein reines Drehgleiten ist. Mit tzterem verbindet sich Rollung namentlich gegen das Ende der Streck-wegung hin, wahrscheinlich aber auch in stärkerem Maße am Ende r Beugung. Bei der sog. typischen Beuge-Streckbewegung am benden liegen dabei die Verhältnisse an den inneren und äußeren ondylen verschieden, indem die Rollung an den inneren Kondylen st bei der letzten Streckung von 10° ziemlich plötzlich auftritt, während e an den äußeren Kondylen früher beginnt und allmählich sich ver-ärkt. Die wirklichen Achsenebenen stimmen also durchaus nicht mit n Evoluten der Hauptprofile und an der Tibia nicht mit der bilateralen ittleren Längsebene genau überein. Übrigens sind die Evoluten der auptprofile der Femurkondylen wegen der wechselnden Gestalt der tzteren recht verschieden und ändern sogar ihre Form und Lage je ach der Kompression des Knorpelbelages recht erheblich (O. Fischer). it Bezug auf die von Braune und Fischer und die von Zuppinger elieferten Daten müssen wir betonen, daß es wohl kaum eine ganz pische Beuge-Streckbewegung gibt, indem sich namentlich in den mitt-ren Stellungen Längsrotation und Drehung um die Querachse, resp. rehgleiten und Rollung an den beiden Kondylen in wechselnder Weise

je nach der Wirkungsweise der bewegenden Kräfte kombinieren können. Es gilt dies sowohl für die aktive, als für die passive, am Bänderpräparat erzeugte Bewegung. Nur in den extremen Stellungen, namentlich am Schluß der Streckung, ist die Bewegung eine zwangmäßig durch Skelett-hemmung besser eingeschränkte.

Indem die Beugestreckbewegung kein reines Drehgleiten ist, sondern Drehgleiten kombiniert mit Rollung, so stellen die Evoluten der Hauptprofile der Femurkondylen nicht voll und ganz die Kurven dar, denen entlang sich die Drehungsachse im Femur verschieben muß. Nichtsdestoweniger ist es für die Beurteilung der Inanspruchnahme der Bänder des Kniegelenkes von Wichtigkeit, diese Evoluten und die jeweilige Lage der Evolventen zu denselben zu berücksichtigen. Letztere ändern zwar, nach Maßgabe wie Rollung stattfindet, ihre Lage gegenüber der Tibia, sie stehen aber immer senkrecht auf der jeweiligen Berührungsstelle, und sowohl die Achse der instantanen Rollbewegung als diejenige des instantanen Drehgleitens muß durch sie hindurchgehen. Im allgemeinen (bei gleichsinnigem Rollen und Drehgleiten) schneidet die resultierende instantane Drehungsachse die Evolvente zwischen der Stelle, an der sich das Hauptprofil des betreffenden Femurcondylus und die Tibia berühren, und der Stelle, wo die Evolvente die Evolute tangiert. Nur bei ungleichem Sinn der beiden Bewegungen liegt der Schnittpunkt distal von der Berührungsstelle. Insofern nun für jeden bestimmten Beugungswinkel des Kniegelenkes die Berührungspunkte der beiden Hauptprofile des Femur bekannt sind, muß wenigstens die Lage und Richtung der Ebene im Femur gegeben sein, in welcher die instantane Drehungsachse liegt. Die verschiedenen möglichen Fälle der Lage der Achse in dieser Ebene lassen sich auseinander halten und bei gegebener Kenntnis der Anheftungspunkte eines Bandes läßt sich die Änderung der Spannung dieses Bandes bei einer Drehung um die genannte Achse wenigstens dem Sinn nach beurteilen. Von diesem Verfahren der Beurteilung wird im folgenden Gebrauch gemacht werden.

D. Die Bänder des Kniegelenks und die Menisci.

α) Die Seitenbänder.

1. Das mediale Seitenband (Lig. collaterale mediale).

Es besteht hauptsächlich aus einem vorderen Zug langer Fasern, dem Lig. collat. med. superficiale, s. anterius, s. longum, welche von der Außenseite des Epicondylus medialis ziemlich hoch oben entspringen, am Rande des inneren Meniscus und am Gelenkrand der Tibia nur locker angeheftet vorbeiziehen und unter die Ausladung der Tibia hinabgehen, um sich hier an der allmählich sich herausbildenden lateralen hinteren Längskante des Tibiamittelstückes anzusetzen.

Der untere Bandansatz liegt etwas nach hinten von der Achsen-
ebene (Evolventenebene) der Tibia. Das Band steigt zwar bei der Streck-
ellung ganz leicht rückwärts ab. Sein Ursprung liegt aber auch in
r Streckstellung immer noch etwas nach hinten von der Achsenebene
r Tibia und von den höchsten Lagen der Beugungsstreckungsachse,
ten am oberen Ende der Evolute des Hauptprofils; er entfernt sich
der Streckung von der Tibia: Das Band spannt sich bei der

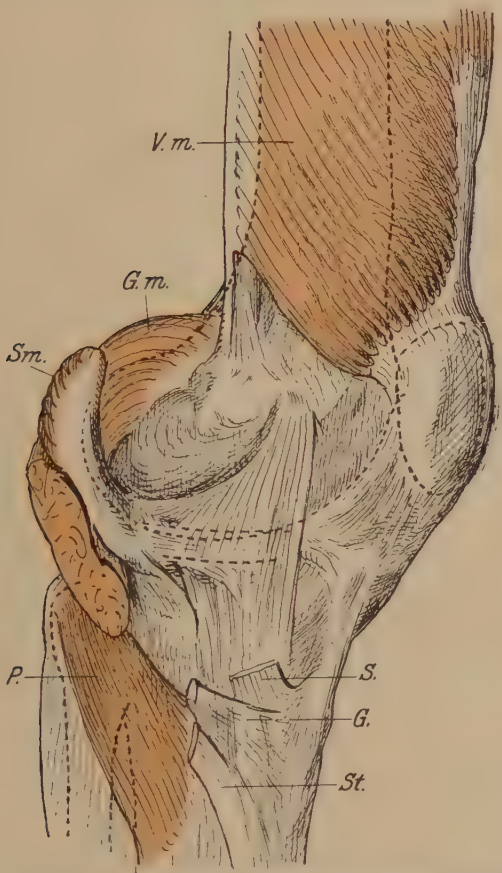


Fig. 146. Mediale Seite des l. Kniegelenkes in Streckstellung.

Streckung. Würde der Schlußakt der Streckung in einer reinen Rollung nach vorn bestehen, so müßte der Ursprung des Bandes dadurch gegenüber der Tibia wesentlich vorwärts aufwärts bewegt, das Band müßte noch stärker gespannt werden. Wenn sich aber am Condylus medialis wirklich mit der Rollung nach vorn ein Rückwärtsgleiten der Tibia verbindet (S. 355), so wird die Zunahme der Spannung beim Schluß der Streckung nicht besonders auffällig sein.

Bei der Beugung nähert sich der Ursprung des Bandes hinter der Achsenebene der Tibia der Endfläche der letzteren. Das Band wird allmählich etwas schlaffer. Der Ursprung rückt auch etwas nach hinten von der Achsenebene ab, so daß das Band im ganzen zuletzt gegen diese Ebene vorwärts absteigt. Doch sollen nach Bugnion seine hinteren Fasern bei der Beugung gespannt werden, was deshalb möglich ist, weil ihr Ursprung tiefer liegt, so daß die Achsenebene der Tibia zuletzt bei der Beugung über sie hinaus nach hinten resp. oben rückt. Sie bilden den Übergang zum Lig. collaterale mediale breve (profundum, posterius)

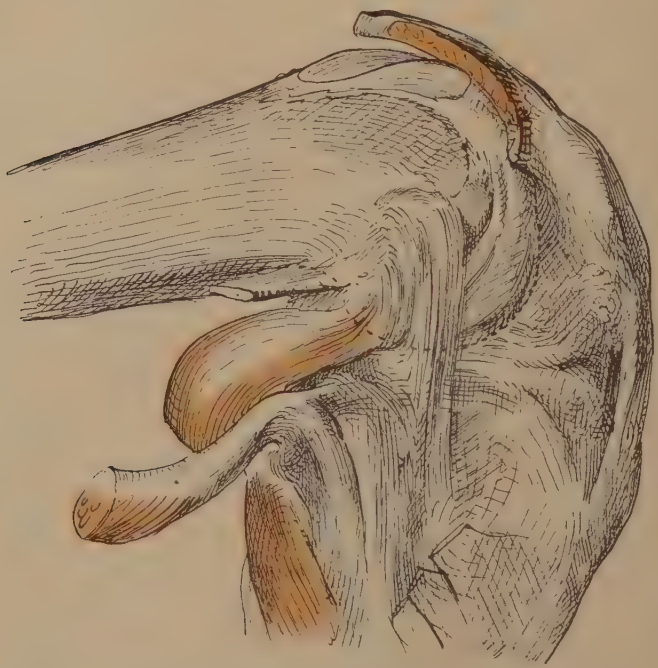


Fig. 147. Mediale Seite des l. Kniegelenkes in Beugestellung.

Im Vergleich mit dem äußeren Seitenband kann man vom langen Zug des inneren Seitenbandes immerhin sagen, daß es auch in der Beugestellung, und zwar in allen Beugelagen ziemlich gleichmäßig gespannt ist, wenn auch nicht ganz so stark wie in der Streckstellung.

An den Hauptzug langer Fasern schließen sich in der Tiefe und namentlich nach hinten zu kürzere Fasern an, welche mehr als eine breite, gleichmäßige Verstärkung der Kapsel erscheinen. Entsprechend dem Umstand, daß sich der lange Hauptstrang aus der Kapsel heraushebt, der Ursprung der letzteren im Bogen unter demjenigen des langen

ides herumgeht, um dann rasch zur Vorder- und Hinterseite des nur emporzusteigen, entspringen jene kurzen Fasern nach unten und ten von den langen. Sie verlaufen teils in einem Zuge nach abwärts schräg rückwärts abwärts zur inneren Peripherie des Randwulstes Tibia, teils heften sie sich unterwegs an dem Rande des inneren norpels an. Zwischen sie schiebt sich unten der vordere horizontale fel der Sehne des Musc. semimembranosus ein (s. u.). Bei der Beugung ebt sich der Ursprung des kurzen Bandes nach vorn unter das Haupt- d, wobei der hinter dem Hauptstrang gelegene, eben durch jene zen Fasern verstärkte Kapselteil sich faltet. Das kurze mediale nd spannt sich natürlich relativ stärker bei der Streckung l erschlafft stärker bei der Beugung, hemmt auch in rkerem Maße im Vergleich zum langen inneren Bande Ein- und Auswärtsrotationen der Tibia gegenüber dem mur.

R. Fick fand, daß es sich in stärkerer Beugung wieder anspannt.

2. Das laterale Seitenband (Lig. collaterale laterale).

Fig. 148 und 149.

Auch hier lassen sich kürzere und längere Fasern unterscheiden. kurzen Fasern (Lig. collaterale laterale breve) verstärken in er Lage den kürzesten Teil der äußeren Kapselwand unter dem condylus lateralis; sie erreichen, zum Teil unterwegs am lateralen norpel angeheftet und selbst bei der Streckstellung des Beins rück- ts absteigend, den Randwulst der Tibia und den obersten Teil des io-Fibulargelenkes. An die hinteren Fasern schließt sich der erflächliche Faserzug längerer Fasern, das eigentliche Lig. laterale fibulare (Lig. collat. lat. longum), der Hauptteil s lateralen Seitenbandes. Dieser hebt sich aus der Kapsel und soeben beschriebenen verstärkenden Faserlage nach unten mehr d mehr als rundlicher Strang heraus; sein Ursprung reicht näher den Epicondylus lateralis femoris hinauf, sein Ansatz aber geht er denjenigen des kurzen Bandes weiter hinab, zum vorderen oberen nd des Capitulum fibulae.

In der Projektion auf die Ebene des Hauptprofils des lateralen murcondylus (seiner tibialen Gelenkfläche) befindet sich der Ursprung s Hauptbandes nach unten vom unteren hinteren Ende der Evolute ses Profils (nach Albrecht über demselben). In Streckstellungen d mittleren Beugestellungen liegt er hinter der instantanen Drehungs- nse (s. Fig. 148); er entfernt sich von der Gelenkfläche der Tibia bei Streckung, nähert sich ihr bei der Beugung, und zwar anfänglich hältnismäßig rasch. Fast vom Anfang der Beugung an nähert sich Ursprung des Bandes der Achsenebene der Tibia und überschreitet wohl zum Schluß, so daß also das Band bei der Beugung nächst rasch, dann langsamer erschlafft, ganz zum Schluß er wohl wieder etwas besser angespannt wird. Bei der ischen Beugung nach Zuppinger, die wohl in ihrem weiteren Fort-

gang mit etwas Einwärtsrotation des Unterschenkels verbunden ist, bleibt das Band leicht schräg von oben nach hinten unten gerichtet.

Stärkere Einwärtsrotation des Unterschenkels vermindert die Schrägstellung und vermehrt die Erschlaffung des Bandes; Auswärtsrotation bewirkt das Gegenteil. In mittleren Beugestellungen kann der Unter-

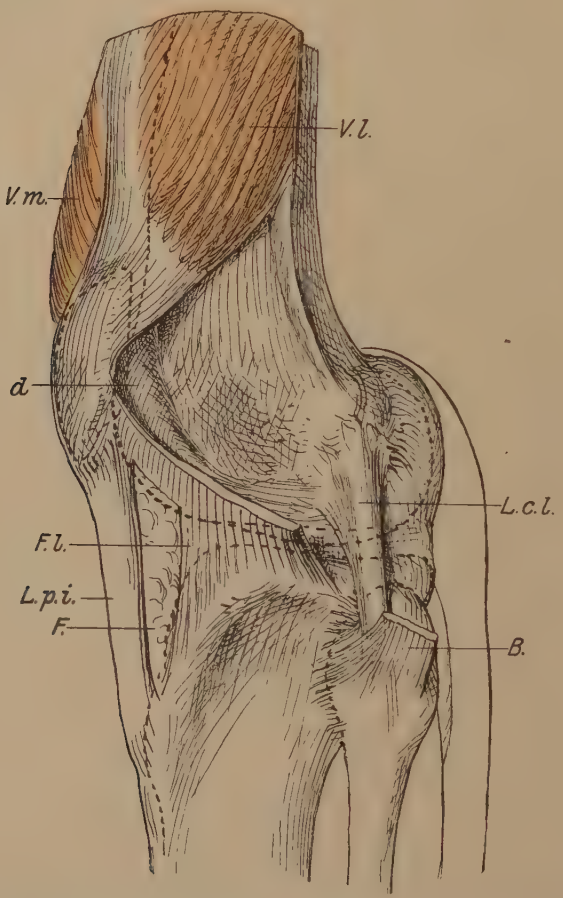


Fig. 148. Laterale Seite des l. Kniegelenkes in Streckstellung

schenkel (um eine durch den inneren Condylus der Tibia gehende Längsachse) so weit längsrotiert werden, daß die Fibula um die ganze Breite ihres Köpfchens nach vorn oder hinten rückt. Das fibulare Seitenband ist bei mittlerer Rotationsstellung am meisten erschlafft, wenn das Knie etwas mehr als zum rechten Winkel gebeugt ist. Seine Spannung nimmt ebensowohl zu bei Einwärts- als bei Auswärtsrotation

Unterschenkels aus dieser Stellung. Nach seiner Durchschneidung
n die Längsrotation des Unterschenkels nach beiden Seiten erheblich
tergeführt werden.

Fig. 149. Laterale Seite des l. Kniegelenkes in Beugestellung.

β) Die Kreuzbänder.

1. Anatomie der Kreuzbänder.

Im Kniegelenk gleiten zwei hinten scharf gesonderte Femurkon-
len auf der Tibia in zwei getrennten Pfannen. Durch das Einragen
r hinteren Kapselwand zwischen die beiden Berührungs- und Gleit-
ellen zwischen Femur und Tibia wird eine unvollständige Trennung
ch des Gelenkraumes in zwei nebeneinander gelegene Kammern
rbeigeführt. Die Trennung des Tibio-Femoralgelenkes in zwei aus-
ıandergerückte Kondylengelenke ergibt offenbar den Vorteil größerer
stigung des Knies gegenüber seitlicher Abknickung, durch Verbreite-
ng der Gleitfläche ohne entsprechende Vergrößerung. Bei gleichem
ruck an der einen Seite und gleichgroßer Bandspannung an der anderen

ist der Widerstand gegen seitliche Einknickung im Knie um so größer, je größer der Abstand der Angriffspunkte des Zug- und Druckwiderstandes ist.

Man könnte versucht sein, in den Kreuzbändern gleichsam Analoga von Seitenbändern, nämlich der einander zugewendeten Seiten der beiden Kondylengelenke zu sehen. Doch ist die Verbreiterung des Knies für die Festigung gegen seitliche Einknickung nur von Vorteil, wenn

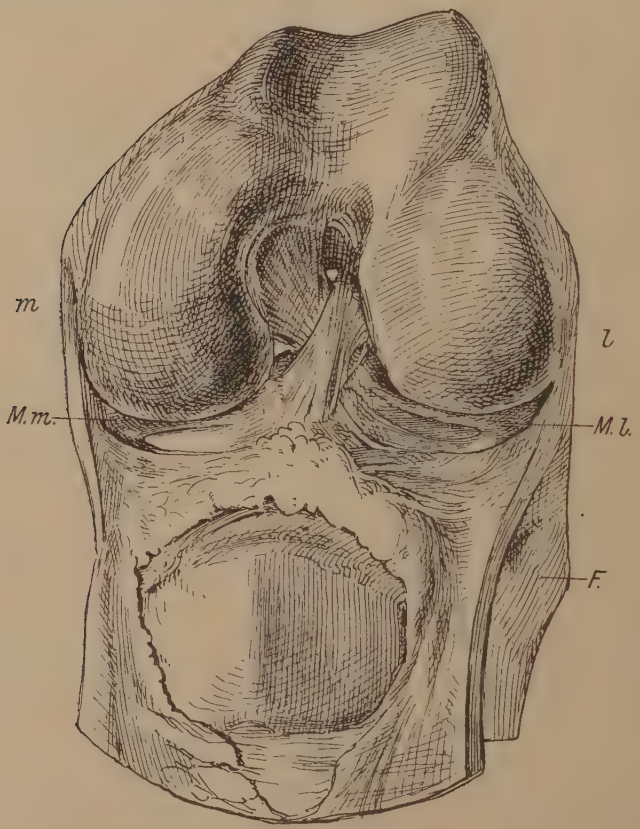


Fig. 150.

der wirksame Widerstand tatsächlich durch den Druckwiderstand der Kondylen an der einen Seite des Gelenkes und durch die Bandspannung zu äußerst an der entgegengesetzten Seite, nicht aber durch mittlere Seitenbänder geleistet wird. So verhält es sich auch wirklich in der Streckstellung. In der Beugestellung allerdings, wo die Seitenbänder erschlaffen und die Verbreiterung des Knies für die Festigung gegen seitliche Einknickung keine so große Bedeutung hat, können die Kreuz-

der einigermaßen stellvertretend für die entspannten Seitenbänder reten, indem sie die Rolle eines axialen Fixationsapparates übernmen, der die Beuge- und Streckbewegung und die Längsrotation Tibia zuläßt.¶ Vermöge seiner zentralen und gekreuzten Anordnung r kommen den Kreuzbändern in der Beuge- und Streckstellung erdem noch andere und besondere Leistungen zu.

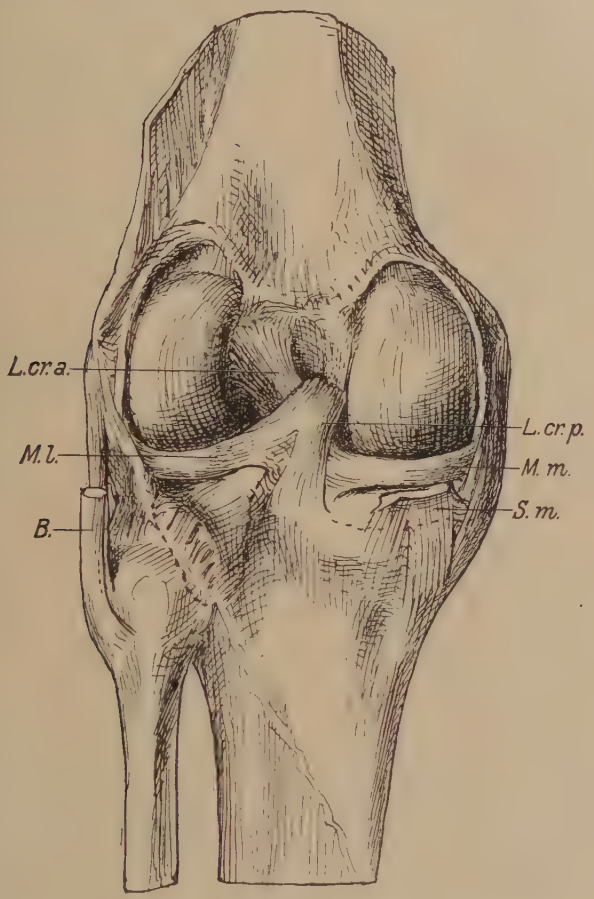


Fig. 151.

Für die Würdigung der mechanischen Bedeutung der Kreuzbänder eine genaue Kenntnis ihrer Verlauf- und Ansatzverhältnisse chtig.

Das weiter hinten an der Area intercondyloidea tibiae entspringde hintere Kreuzband ist wegen seines Ansatzes am inneren Condlus femoris zugleich das innere, das an jener Area der Tibia vorn

entspringende vordere Band ist wegen seines Ansatzes am äußeren Femurkondyl zugleich das äußere Band: Ligg. cruciata posterius internum (mediale) und anterius externum (laterale). Das Wort **piae** kann als Mnemotechnikum dienen. Die genaueren Verhältnisse des Ursprungs sind aus den Figg. 150 und 151, 160 und 161 ersichtlich.

Die Area intercondyloidea tibiae erhebt sich, dem (unteren) Ursprung der beiden Bänder entsprechend, zu den Eminentiae intercondyloideae, von denen die vordere etwas mehr lateral gelegen ist. Das hintere Kreuzband greift am (unteren) Ursprung mit seinen hinteren oberflächlichen Fasern in die Incisura intercondyloidea posterior tibiae hinab; ein anderer Teil derselben geht beiderseits in die hinteren Ränder der Menisci, namentlich in denjenigen des Meniscus lateralis über (Figg. 119 und 151).

Der obere Ansatz beider Bänder liegt im Bereich der Fossa intercondyloidea femoris (Figg. 150—152), die hinten von der Crista intercondy-

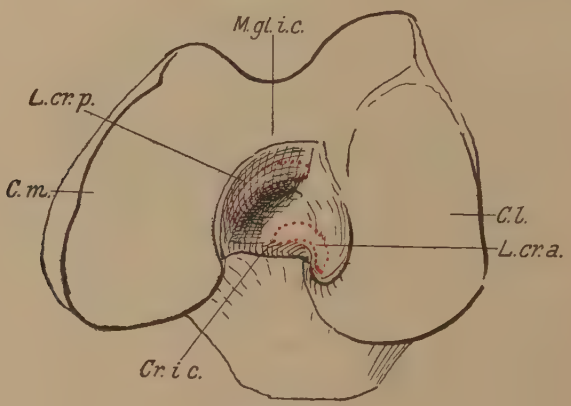


Fig. 152.

loidea, seitlich und vorn vom Margo glenoidalis intercondyloideus begrenzt ist. Der Ansatz des hinteren Bandes liegt an der vorderen Wand der Grube und erstreckt sich, dem Gelenkflächenrand folgend, auf die vom medialen Condylus gebildete innere Wand. Der Ansatz des vorderen Kreuzbandes befindet sich an der lateralen Hälfte des von der Crista intercondyloidea gebildeten hinteren oberen Randes der Grube und erstreckt sich von da, dem Gelenkflächenrand folgend, auf die vom lateralen Condylus gebildete Außenwand. Am hinteren Band sind es die am meisten vorn in der Area intercondyloidea entspringenden Fasern, welche zunächst dem Gelenkflächenrand am Condylus femoris medialis ansetzen; die hinteren, oberflächlicheren Fasern inserieren näher dem freigelassenen Boden der Grube und am vorderen Rand derselben, hinter dem Querstück des Margo glenoidalis intercondyloideus. — Am vorderen Kreuzband sind es nicht eigentlich die am meisten lateral

springenden Fasern, wie Henle angibt, sondern die am meisten vorn medial entspringenden Fasern, welche sich am hinteren Rand der sa intercondyloidea femoris (Crista intercondyloidea) ansetzen; je weiter n und lateral die Fasern entspringen, desto weiter gegen den Con- is lateralis hinten und desto weiter unten an demselben (bei Vertikal- lung des Femur) setzen sie sich an. Die am Ursprung am nächsten inander liegenden Fasern laufen am meisten schräg zur Seite. Beide der zeigen eine Art Torsion, die am vorderen Kreuzband bei der gung, am hinteren bei der Streckung des Knies am deutlichsten esprochen ist.

Die beiden Kreuzbänder schließen sich hinten an das aufgelockerte aufgeblätterte, fettdurchsetzte, zwischen die Kondylenwülste ein- gende Polster der hinteren Kapselwand an. Zwischen beiden Kreuz- dern liegt stellenweise ebenfalls etwas Fettgewebe, an der Über- izungsstelle findet sich häufig ein Schleimbeutel.

2. Die Stellungsänderung der Ansatzpunkte und die Spannungsänderung der Kreuzbänder.

In den beiden Diagrammen der Figg. 153 und 154 haben wir das egelenk mit den Kreuzbändern bei Streckung und Beugung in seit- er Projektion dargestellt. Die Grenzlinien des mittleren Längs- ittes sind schwarz ausgezogen, ebenso die Fasern des Lig. cruciatum t. Weiter medial gelegene Konturen sind mit unterbrochenen warzen Linien, die mehr lateral gelegenen Konturen sind rot dar- ellt.

Das in allen Stellungen des Gelenkes vorwärts absteigende vordere uzband ist länger als das stets rückwärts absteigende hintere (5 : 3 cm). mt man die Mittellinien der Bänder, so ist in der Projektion auf die ne der Beugung der Abstand ihrer unteren Ursprünge 5 cm, ihrer ren Ansätze 1,7 cm. Die Entfernung der femoralen Ansatzpunkte, tibialen Ursprungspunkte, die Länge des vorderen und die Länge hinteren Kreuzbandes verhalten sich in dieser Projektion unge- r wie 1,7 : 5 : 5 : 3.

Man kann sich vier starre Stangen von diesen Dimensionen zu einer chlossenen kinematischen Kette mit gekreuzten mittleren Gliedern enkig verbunden denken und sich an einem solchen Modell (Fig. 155) chaulich vor Augen führen, welche Punktbahnen die beiden Femur- ätze gegenüber der Tibia beschreiben können, welche Bewegung also n Femur ausgeführt werden könnte bei vollkommen unveränderter annung der beiden Kreuzbänder. Da der femorale Ansatzpunkt eines en der beiden Bänder sich gegenüber der Tibia nur senkrecht zu der eiligen Richtung des Bandes bewegen könnte, so würde die Lage s Schnittpunktes der Mittellinien dieser Bänder stets die ge der instantanen Drehungsachse repräsentieren, um lche sich die beiden Knochen gegeneinander drehen müß- , damit die obige Bedingung erfüllt ist.

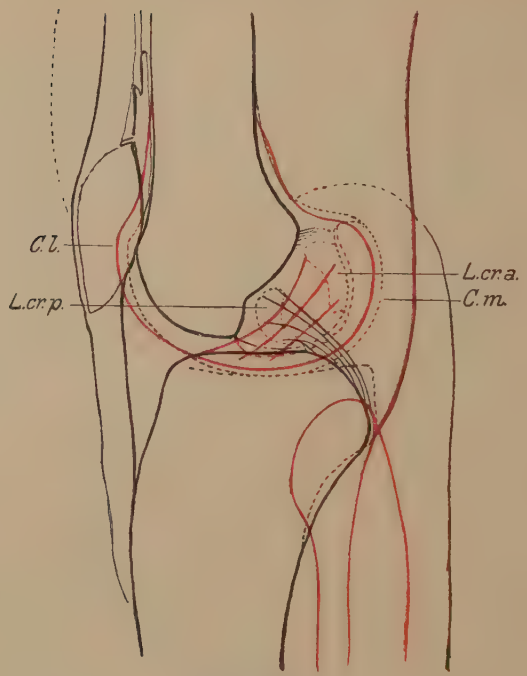


Fig. 153.

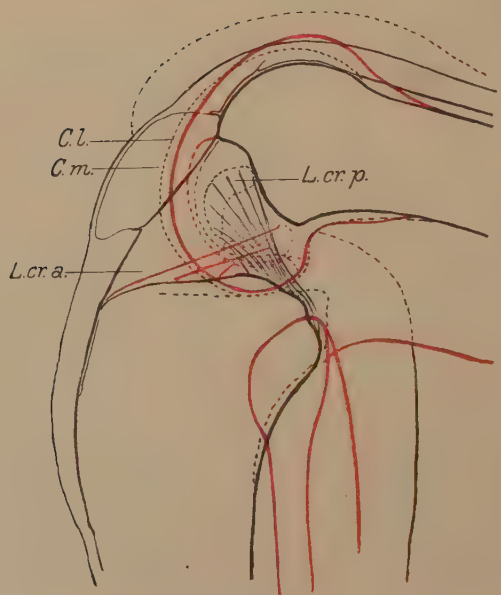
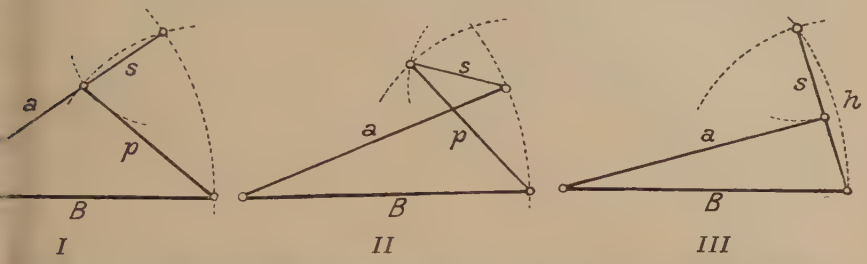


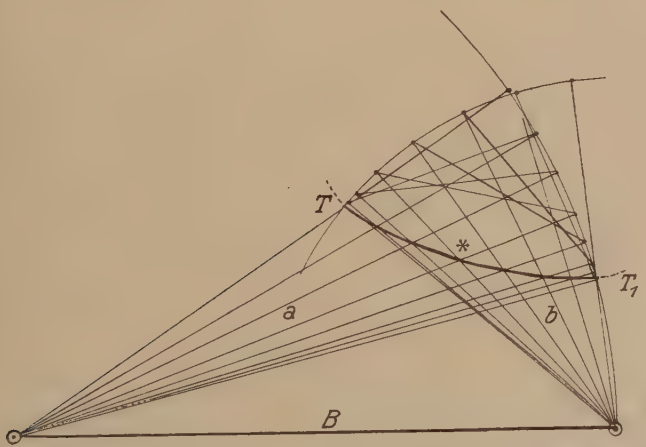
Fig. 154.

Nun ist die Polkurve, welche der Kreuzungspunkt gegen-
er der Tibia beschreibt, für eine Exkursion aus fast völliger
eckstellung bis zu einer Beugung von ca. 130° ein etwas rückwärts
teigendes, fast geradliniges, nur an den Enden aufwärts abbiegendes



. 155. *I—III* Schema eines Gestänges mit oberer und unterer Stange, welche
len Ausmaßen den Abständen der oberen und der unteren Anheftungen der
uzbänder, und mit den gekreuzten Zwischenstangen den Ausmaßen der Kreuz-
der entsprechen. *a* Vorderes, *p* hinteres Kreuzband, *I* Streckstellung, *II* Mittel-
stellung, *III* Beugestellung.

rvenstück (Kurve TT in Fig. 156). Gegenüber dem Femur aber
chreibt der Kreuzungspunkt bei der Beugung die untere Hälfte
er ellipsenartigen Kurve vom femoralen Ansatzpunkt des hinteren



g. 156. Verschiebung des Kreuzungspunktes der Zwischenstangen gegenüber
der feststehend gedachten unteren Stange *B*.

reuzbandes unten herum zum femoralen Ansatzpunkt des vorderen
reuzbandes. Fig. 157 zeigt diese Kurve F F und die Art ihrer Er-
ittelung. Das Femur mit der Schlußlinie S des Gestänges ist dabei
hend gedacht, die Tibia als bewegt. F ist die Lage des Kreuzungs-

punktes bei stärkster Streckung, F seine Lage bei stärkster Beugung des Knies. Wir haben in dieser Figur auch noch die Polkurve, welche der Kreuzungspunkt gegenüber der Tibia beschreibt, für eine mittlere Beugestellung eingezeichnet (TT').

Eine Bewegung, welche die Kreuzbänder gleichmäßig angespannt läßt, müßte so geschehen, daß sich die beiden Polkurven aneinander abwickeln resp. aneinander rollen.

Die elliptische Polkurve FF und die zugehörige Sehne (s. Fig. 156) steigen im aufrecht gestellten Femur resp. seiner gedachten starren Fortsetzung im ganzen etwas nach vorn ab. Die Polkurve ist demnach nicht unerheblich verschieden von der Evolute der wirklich statt-

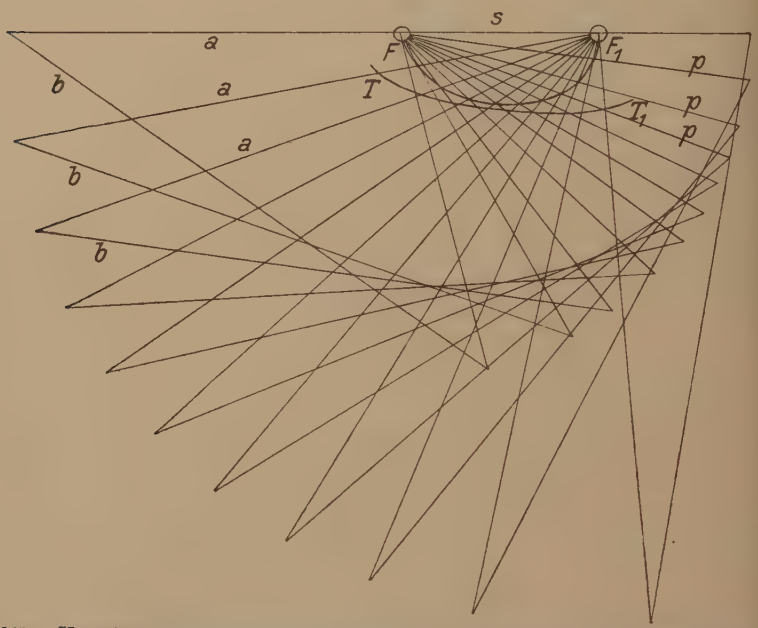


Fig. 157. Verschiebung des Kreuzungspunktes der Zwischenstangen gegenüber der feststehend gedachten oberen Stange *S*.

findenden Drehgleitung. Noch viel auffälliger ist die Verschiedenheit der Polkurve in der Tibia (ihrer starr gedachten Fortsetzung) von der geraden Pollinie des reinen Drehgleitens, die sie nach vorn aufsteigend in einem Winkel von 70—80° kreuzt.

Es ergibt sich aus dieser Betrachtung im Gegensatz zu der Annahme von Zuppinger, daß bei der tatsächlichen Beugestreckbewegung, auch wenn wir vom allerletzten Teil der Streckung und Beugung absehen, die beiden Kreuzbänder nicht annähernd gleichmäßig gespannt bleiben können. Dabei ist hervorzuheben, daß die Kreuzbänder immer gekreuzt bleiben, wenn auch bei maximaler

reckung des Knies der vordere femorale Ansatz des hinteren Bandes ch so weit senkt, und der hintere femorale Ansatz des vorderen Bandes ch so weit hebt, daß letzterer beinahe in die Linie des hinteren Bandes liegen kommt, und andererseits bei stärkster Beugung der hintere morale Bandansatz sich so weit hebt, der vordere sich so weit senkt, ß letzterer beinahe in die Linie des vorderen Bandes (an seinem oberen rittelpunkt) einrückt (Fig. 155).

Die Angaben der Autoren über die Spannungsänderung den Kreuzbändern lauten widersprechend. Wir beschränken uns folgenden auf unsere eigenen Ermittelungen.

3. Das hintere innere Kreuzband.

Sein Femuransatz liegt unter dem mittleren Teil der Evolutenche des Femur. Bei der Streckstellung befindet er sich hinter der volventenebene; bei der Beugung rückt diese Ebene bald in den ndansatz hinein und an die Hinterseite desselben, wobei sich die dfläche der Tibia dem Bandansatz anfangs nähert, um sich dann eder von ihm zu entfernen. Das Band wird sich beim weiteren Fortng der Beugung um so stärker anspannen, je mehr die gleiche Winkelehung durch Drehgleiten statt durch Rollung zustande kommt, indem nn bei gleicher Richtung und Lage der Evoluten die Tibiaendfläche rch die Berührungsstelle um so weiter nach hinten geschoben ist.

Bei der Streckung erschlafft das Band bis fast zum hluß, und zwar auch wieder um so rascher, je mehr Drehgleiten der bia nach vorn zu der Rollung nach vorn beigemischt ist.

Am Schluß der Streckung, wenn die Evolute über den Bandansatz ch vorn gerückt ist, gehen die Anheftungspunkte des Bandes wieder seinander, und zwar um so rascher, je tiefer die Drehungsachse gegen ist, je mehr die Drehung also durch Rollung zustande gebracht ird. Bei der Bewegung, welche Zuppinger studiert hat, liegen für ne solche Wiederanspannung die Verhältnisse am medialen Condylus, welchem sich das Band ansetzt, einigermaßen günstig erst im Endteil r Streckung, wo die Drehungsachse besonders tief liegt. Es zeigt ch in der Tat nur bei stärkster Streckung eine bemerkenserte Anspannung des Bandes und nur in den hintersten nd äußersten Fasern (welche von der Berührungsstelle am weitesten ntfernt sind). Ferner ist der Anspannung des Bandes bei stärerer Beugung günstig, daß hier die Umstellung der Tibia am medialen ondylus wesentlich durch Drehgleiten geschieht. Bei der Schlußreckung bewegt sich der Ansatz des Bandes fast genau in der Längsichtung des letzteren nach vorn oben. Beim Beginn der Beugung rschlaffen zunächst die hintersten und äußersten Fasern des hinteren reuzbandes sofort, indem ihr Ursprung sich senkt. Der ganze Bandnsatz rückt dann infolge des Drehgleitens in die Evolutenebene ein, daß also bald nach Beginn der Beugung das ganze hintere Kreuzand maximal erschlafft ist. Dann spannen sich, wenn die Beugung ber 30° hinausgeht, deutlich die mittleren und äußeren, und schließ-

lich auch die innersten tiefsten Fasern des Bandes. Zuerst kommt nämlich der Femuransatz der mittleren, dann derjenige der inneren tiefsten Fasern vor die Evolutenebene zu liegen, um rasch in die Höhe zu steigen, unter Entfernung von der Endfläche der Tibia und von der tibialen Ursprungsstelle des Bandes. Es winden sich zuletzt die innen am Femur angesetzten Fasern um die äußeren und alle um die Crista intercondyloidea und die innen angesetzten Fasern des vorderen Bandes aufsteigend nach vorn und außen herum (Fig. 150).

Diese Darstellung weicht etwas von derjenigen R. Ficks ab, der angibt, daß die medialen hinteren Fasern bei der Beugung schlaff bleiben, weil ihr Ansatz nur unter der Drehungsachse vorbei nach vorn gehe.

4. Das vordere äußere Kreuzband.

Es fällt in seinem femoralen Ansatz ungefähr mit dem unteren Ende der Evolutenfläche des Femur zusammen. Seine Ansatzstelle kommt gegen das Ende der **Streckung** erheblich weit hinter die Evolventenebene zu liegen und muß bei fortschreitender Streckung aufwärts bewegt und von der Ursprungsstelle entfernt werden. Die Verschiebung erfolgt um so mehr in der Richtung des Bandes, nach oben und hinten, je höher die Drehungsachse gelegen ist. Am lateralen Condylus, an welchem sich das Band ansetzt, liegen hierfür die Verhältnisse günstiger, indem die Umstellung der Tibia bis fast zum Schluß der Streckung mit Vorgleiten des lateralen Condylus (und auch der Area intercondyloidea) verbunden ist (höhere Lage der Drehungsachse an der lateralen Seite nach den Daten von Zuppinger). Schließlich wird auch an der lateralen Seite, und zwar wohl gerade durch die Anspannung des vorderen Kreuzbandes das Vorgleiten der Tibia gehemmt, während die Rollung nach vorn zunächst eher noch möglich ist, indem sie den Femuransatz mehr quer zum Band nach oben bringt. Erst ganz zuletzt, bei allfälliger Verschiebung des Berührungs- und Stemmpunktes der Femurrolle nach dem vorderen Pfannenrand hin, über die Tibialanheftung des Bandes hinaus, kann letzteres schließlich auch zum Hemmungsband für die Vorrollung werden.

Eine Erschlaffung des hinteren (unteren lateralen) Teiles des vorderen Kreuzbandes bei der Streckung, wie sie R. Fick behauptet, vermag ich allerdings nicht zu konstatieren. Es ist also Gewicht darauf zu legen, daß das vordere Kreuzband wohl das Drehgleiten der Tibia nach vorn und zwar bis fast zum Schluß, nicht aber die Vorwärtsrollung zwischen Tibia und Femur hemmt. Dies gilt vor allem für die lateralen Kondylen, während in direktem Gegensatz dazu das hintere Kreuzband am medialen Condylus gegen das Ende der Streckung wohl die Rollung nach vorn, aber nicht das Drehgleiten hindert. Ich sehe hierin die Ursachen für die Erscheinung der Schlußrotation bei der Streckung, soweit sie im Gelenk gelegen ist. Man muß dabei also nicht bloß das äußere vordere, sondern ebensosehr das innere hintere Kreuzband in Berücksichtigung ziehen.

Bei der **Beugung** über 20, 30° hinaus, wo bereits Drehgleiten rwiegt, entspannt sich zunächst das vordere Kreuzband, dem sein Femoralansatz von hinten nach vorn gegen die Evolventen- ne der Tibia heranrückt, unter Annäherung an die Tibia; es legt ch dabei das Band mehr und mehr auf die Eminentia inter- ndyloidea nieder und breitet sich frontal aus, die laterale Breit- te nach oben gedreht. Indem aber in stärkerer Beugung (von 0 an) der Ursprung des Bandes an der Crista intercondyloidea (Femur- olute) ziemlich genau mit der Drehungsachse zusammenfällt, bleibt e Entspannung eine beschränkte, ja es können zuletzt sogar medialen oberen Fasern sich wieder mehr spannen.

Bei geradlinigem Verlauf des Bandes würde es dabei bleiben.

Eine stärkere Spannung des hinteren Kreuzbandes bei weiter- hender Beugung wird nun aber dadurch hervorgerufen, daß sich das itere Kreuzband mehr und mehr um seinen medialen Rand herum- ndet. Beide Bänder verhaken sich ineinander und spannen sich genseitig immer mehr. Wie R. Fick mit Recht hervorhebt, sind es beiden Kreuzbänder, welche am Gelenkpräparat schließlich die itere Beugung ganz allein hemmen, und seine durch Versuch und obachtung einer Varietät gestützte Annahme, wonach jedes der beiden euzbänder für sich allein, bei Fehlen des andern, die Hemmung nicht stande bringt, erscheint theoretisch sehr plausibel.

Schon vor dem Schluß der Beugebewegung am Bänderpräparat der Kreuzungs- resp. Umwindungspunkt der beiden Bänder der nkt, um welchen die Beugung weitergeht; da er unterhalb der Evol- ntenfläche für das Drehgleiten liegt, so ist die Weiterbewegung nicht öglich ohne Kompression der hinten unter die Femurkondylen ein- schobenen Meniscusabschnitte, die anscheinend namentlich an der edialen Seite stattfindet. Gegen eine Rollung nach hinten in der eugestellung bildet in dieser Endstellung das vordere äußere Kreuz- nd naturgemäß ein Hindernis, vor allem für den lateralen Condylus. ber infolge der Herumwindung um das äußere Kreuzband kann auch r obere Ansatz des inneren Kreuzbandes nicht weiter rückwärts hen, so daß die Weiterrollung in gleicher Weise auch für den inneren emurcondylus unmöglich gemacht ist.

Voraussetzung für eine frühzeitigere Anspannung des vorderen reuzbandes bei der Beugung ist eine Einwärtsrotation der Tibia. ird also ihre Auswärtsrotation zu Beginn der Beugung rasch auf- hoben und tritt statt dessen möglichst Einwärtsrotation hinzu, so ischt sich der weitergehenden Beugung an der Seite des lateralen Con- lus alsbald Rollung nach hinten bei. Die Tibia kann dabei am late- len Femurkondyl bis gegen den Schluß der Beugung verhältnismäßig eit vorn bleiben. Das Ende der möglichst weit getriebenen Beugung er muß dann mit stärkerem Drehgleiten der Tibia nach hinten auch der Seite des lateralen Condylus verbunden sein. Der hintere Teil s Meniscus ist hierbei von Anfang an relativ weit auf der Tibia nach nten geschoben und erfährt alsbald eine stärkere Kompression, die m Schluß eher geringer wird.

Umgekehrt liegen die Verhältnisse, wenn die Tibia bei der Beugung zunächst in auswärtsrotierter Stellung verbleibt. Hier spannt sich das vordere Kreuzband nicht sobald. Die Beugung kann zunächst auch an der Seite des lateralen Condylus wesentlich durch Drehgleiten der Tibia geschehen, bei weit vorn am Femur und hinterem Meniscusteil gelegenen Berührungspunkt. Erst gegen den Schluß wird dann durch die Rollung dieser Meniscusabschnitt stärker nach hinten hinausgeschoben und komprimiert.

Was nun die Neigung zur Einwärtsrotation des Unterschenkels am Ende der Beugung betrifft — es handelt sich dabei jedenfalls nicht um eine ebenso streng zwangmäßige Kombination wie bei der Streckrotation —, so kann als Ursache geltend gemacht werden, daß an der Seite des medialen Condylus bis fast zum Schluß der Beugung Drehgleiten möglich, Rollung nach hinten aber fast ganz ausgeschlossen ist. Das obere Ende des hinteren Kreuzbandes fängt sich am vorderen Kreuzband und ist an der Rückwärtsbewegung verhindert, während das erschlaffte oder nach unten eingebogene äußere Kreuzband mit seinem oberen Ansatz noch eine Exkursion nach hinten auszuführen vermag und demnach eine Schlußrollung des lateralen Femurcondylus nach hinten zuläßt. Dieselbe muß um eine Achse geschehen, welche etwa durch den Ursprung des medialen Seitenbandes, den Verhackungspunkt der beiden Kreuzbänder und den mittleren Berührungspunkt des lateralen Femurkondyls mit der Tibia geht.

5. Verhalten der Kreuzbänder und Seitenbänder bei der Aus- und Einwärtsrotation des Unterschenkels.

R. Fick hat besonders hervorgehoben, daß die beiden Kreuzbänder sich bei der Einwärtsrotation des Unterschenkels stärker umeinanderwickeln, bei der Auswärtsrotation dagegen sich voneinander abwickeln. Infolge davon hemmen beide Kreuzbänder schon für sich allein sowohl in der Streck- als in der Beugestellung die Einwärtsrotation des Unterschenkels. Während die Zerschneidung der Seitenbänder auf den Betrag der möglichen Einwärtsrotation keinen Einfluß hat, wird durch die Zerschneidung der beiden Kreuzbänder oder auch nur des einen derselben die Ausgiebigkeit der Einwärtsrotation namentlich in der Beugestellung erheblich vermehrt.

Umgekehrt wird die Auswärtsrotation in der Streckstellung und Beugestellung nicht durch die Kreuzbänder, sondern wesentlich nur durch die Seitenbänder gehemmt, indem erstere sich ja voneinander abwickeln, letztere aber sich in den Grenzlagen immer mehr schräg stellen. Durchschneidung der Seitenbänder, aber nicht diejenige der Kreuzbänder, vergrößert den Umfang der möglichen Auswärtsrotation, namentlich in der Beugestellung.

Ich gebe in Fig. 158 die Projektion der Ursprungs- und Ansatzstellen der Kreuzbänder auf eine der Endfläche der Tibia entsprechende Ebene. Die Linien a und p sind die Projektionen des vorderen und hinteren Kreuzbandes, b ist das basale (tibiale) Zwischenstück, s das femorale Schlußstück des Gestänges, (s. o.). Bei

ärtsrotation der Tibia müssen schließlich alle diese Linien in der Projektion mmenfallen, während sich bei der Auswärtsrotation das Kreuz öffnet.

In Anbetracht der Mächtigkeit und gegenseitigen Berührung der Bänder mt es bei stärkerer Einwärtsrotation zur gegenseitigen Behinderung und Aus- ng, so daß sie sich nun wirklich umeinander winden und infolge davon, bei h bleibendem vertikalem Abstand der Linien b und s übereinander, stärker annen.

Diese Erscheinung tritt besonders früh ein bei stärkerer Beugung, weil sich wie oben gezeigt wurde, die en Bänder auch in der sagittalen ne umeinander wickeln und da- h stärker spannen.

Es muß also auch schon die hschneidung auch nur des einen eiden Kreuzbänder die Möglich- der Einwärtsrotation in der gestellung, welche sonst ver- nismäßig eng beschränkt ist, s vermehren.

Außer der Anspannung der der, welche bei der Einwärtsro- n des Unterschenkels dadurch eigeführt wird, daß sich die der gegenseitig aus dem gerad- en Verlauf herauszwingen, mt aber noch die wirkliche erung der Distanz zwischen dem len und femoralen Ansatz jedes des in Betracht. In dieser Beziehung ist nun nicht gleichgültig, um welche se die Drehung stattfindet. Geht die Achse der Längsrotation zwischen den eftungsstellen der Bänder hindurch (Kreuzungsstelle), so vergrößern sich die nnten Distanzen und spannen sich beide Bänder bei der Einwärtsrotation Unterschenkels, während bei der Auswärtsrotation eine Verkleinerung der anzen und eine Entspannung der Bänder eintritt. Bei Einwärtsrotation der a um eine Achse, welche durch den medialen Condylus (Mitte) geht, spannt das vordere Band, das hintere erschlafft. Bei Auswärtsrotation der Tibia um e Achse entspannt sich das vordere und spannt sich das hintere Band. Das gekehrte geschieht bei Drehung um eine durch die Mitte des äußeren Condylus nde Achse. Auch diese Verhältnisse müssen berücksichtigt werden, wie es vorigen implicite bereits geschehen ist.

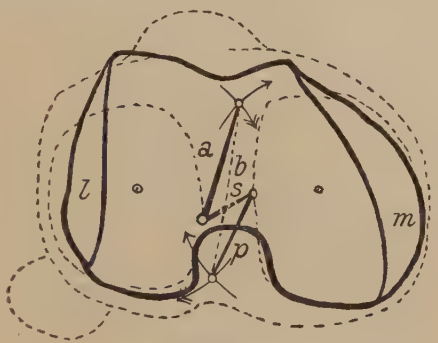


Fig. 158.

Die Gebrüder Weber haben bereits festgestellt, daß nach Durchnneidung der Kreuzbänder der Zusammenhalt des Kniegelenkes der Streckstellung nicht wesentlich gelitten hat, indem Femur und bia in derselben durch die Spannung der Seitenbänder gegeneinander ert bleiben, daß dagegen in allen Beugestellungen das Gelenk schlotterig l wacklig geworden ist, indem die erhalten gebliebenen Seitenbänder diesen Stellungen erschlafft sind; namentlich ist letzteres mit den eralen Seitenbändern der Fall. Umgekehrt bewirkt nach R. Fick rschneidung der Seitenbänder bei Erhaltung der Kreuzbänder Schlottern des Gelenkes in allen der gewöhnlichen Streckstellung achbarten Lagen.

6. Bedeutung der Kreuzbänder zur Verhinderung der Abscherung.

Mit der Anerkennung der Bedeutung der Kreuzbänder für die xation des Kniegelenkes im allgemeinen und für die Hemmung ge-

wisser Drehbewegungen ist man nun aber den Leistungen derselben noch nicht völlig gerecht geworden. Eine besondere Wichtigkeit haben sie für die Verhinderung der Parallelverschiebung der Tibia gegenüber dem Femur parallel der Trennungsfläche.

Wenn man an einem Gelenkpräparat Bewegungen ausführt, so geschieht das gewöhnlich in der Weise, daß der eine Knochen absolut fixiert, der andere aber durch tangential angreifende Kräfte herumgeführt resp. gedreht wird. Es werden dabei wesentlich nur Widerstände wachgerufen, welche senkrecht zur Pfanne gegen die Achse wirken, abgesehen vom Reibungswiderstand und den exaxialen Gelenkwiderständen, welche die Bewegung hemmen. Bei den Bewegungen welche im Kniegelenk beim Lebenden ausgeführt werden, kommt eine ähnliche Kraftwirkung zur Geltung, wenn der Oberschenkel festgestellt und der Unterschenkel frei ist. Ganz anderer Art sind die Bedingungen der Bewegung im Kniegelenk bei aufgesetztem Fuß und mehr oder weniger festgestelltem Unterschenkel. Beim Gang z. B. wird am Standbein der Oberschenkel durch die Kraft der Hüftstrecker kraftvoll nach hinten gezogen, während die Gegenwirkung der gleichen Muskeln den Rumpf mit dem Hüftgelenkende des Femur nach vorn treibt. Das Kniegelenkende des Femur wird mit dem oberen Ende des Unterschenkels und, soweit dieses in der Rückbewegung gehindert ist, gegenüber demselben nach hinten getrieben. Neben einer Einwirkung zur Streckung des Kniegelenkes wirken dann auf das untere Ende des Femur gegen die Drehungsachse Kraftkomponenten parallel der Endfläche der Tibia von vorn nach hinten im Sinne einer abscherenden Gewalt. In anderen Fällen kann eine Krafteinwirkung vorhanden sein, welche das Gelenkende des Femur parallel der Endfläche der Tibia nach vorn treibt (Abscherung nach vorn).

Diesen Einflüssen vermögen die Seitenbänder allein oder zusammen mit Druckwiderständen an den Gelenkkörpern weder in der Beuge-, noch in der Streckstellung genügend Gleichgewicht zu halten. Wohl aber sind die Kreuzbänder durch ihren schrägen Verlauf ganz besonders befähigt, die Abscherung oder Gleitbewegung des Femur parallel der proximalen Endfläche der Tibia zu verhindern, zusammen mit Druckwiderständen der Pfanne. Das vordere Kreuzband hindert das Abgleiten nach vorn, das hintere Kreuzband hindert in entsprechender Weise das Abgleiten nach hinten. Diese Bedeutung der Kreuzbänder ist bis jetzt so gut wie völlig übersehen worden.

Die hier besprochene Inanspruchnahme des Kniegelenkes auf Abscherung des Femur gegenüber der Tibia nach vorn und unten ist etwas ganz anderes als das was R. Fick (III. Bd., S. 547) in Betracht zieht. Nach diesem Autor wirken bei der Beugestellung des Knies starke Komponenten des Zuges der Beugemuskeln zur Parallelverschiebung der Tibia an den Femurkondylen nach der Beugeseite hin. Solches kann natürlich nur am frei gehaltenen Bein oder beim Rückwärtsdrängen des gebeugten Unterschenkels mit der Ferse gegen einen Widerstand in Betracht kommen. Einflüsse zu Parallelverschiebungen kommen nach dem gleichen Autor bei den normalen Kniebewegungen nicht vor (III. Bd., S. 546).

Was zunächst das hintere Kreuzband betrifft, so kommt die

nannte Funktion namentlich in Frage beim Einsinken in die Beuge-llung, beim Vor- und Niedersprung in die Knie, beim Hinüberwälzen r Körperlast auf das gebeugte vorgesetzte Bein im Gang, Lauf i Sprung. Das Band ist hier bereits durch die Beugebewegung an-spannt. Der Unterschenkel wird durch die Spannung der Waden-skeln am Einsinken nach vorn mehr oder weniger gehindert. Die reckmuskeln des Knies sind zwar ebenfalls in Spannung, vermögen er die Vorbewegung des unteren Femurendes über der Endfläche der bia nicht genügend zu hindern. Das hintere Kreuzband allein kann s in genügender Weise besorgen, zusammen mit dem Druckwider-nd der Pfanne. Es ist bemerkenswert, daß die Abscherbewegung ch vorn in allen genannten Fällen in der Regel über den inneren ßrand hinübergeht, so daß in dieser Beziehung der Verlauf des hin-en Kreuzbandes von der Tibia schräg nach oben vorn und nach dem dialen Condylus des Femur hin den Ansprüchen in sehr nützlicher eise angepaßt erscheint. In den Beugestellungen ist schon bei freiem in, ganz besonders aber bei einer Abscherungsbeanspruchung, wie soeben erläutert wurde, das hintere Kreuzband besser gespannt; r mediale Condylus femoris ist der besser fixierte, und wird es aus esem Grunde verständlich, daß die längsrotatorischen Nebenbewe-ngen des Unterschenkels, die in der Beugestellung möglich sind, um ne durch den medialen Condylus hindurchgehende Längsachse ge-hehen.

Das vordere Kreuzband verhindert das translatorische Ab-eiten des unteren Femurendes auf der Endfläche der Tibia nach hinten. lbst in gebeugter Stellung spannt es sich sofort an, wenn die Femur-ndylen über der Tibia rückwärts gedrängt werden, ein Beweis, daß ne erste kleine Abscherbewegung nach hinten wirklich stattfindet. ie Gefahr eines solchen Abgleitens des Femurendes auf der Tibia ist er besonders dann gegeben, wenn bei gestrecktem oder leicht gebeugtem nie der Oberschenkel durch Streckaktion im Hüftgelenk wie ein Ruder ch hinten bewegt wird, wie wir das oben auseinandergesetzt haben. as Knie des aufgesetzten Beines wird dabei zunächst gestreckt und ch hinten durchgedrückt; der Körper mit dem oberen Ende des sich rsteifenden Standbeins wird nach vorn getrieben. Offenbar ist das vor-ere Kreuzband gerade durch die schräge Richtung seines Verlaufes beson-ers geeignet, die drohende Abscherung im Kniegelenk beim Vorschreiten verhindern. Die Fußspitze ist mehr oder weniger nach außen ge-endet, die Rumpflast wird über den inneren Fußrand hin auf das rgesetzte Bein, das dadurch zum Standbein wird, hinübergewälzt. ie Richtung, in welche das Femurende auf der oberen Endfläche der bia rückwärts getrieben wird, geht dabei nach der Seite des lateralen ondylus hin von vorn (innen) nach hinten (außen), entsprechend einer bene, in welcher auch das vordere Kreuzband verläuft.

Die nützliche Übereinstimmung des Baues des Kniegelenkes mit den Er-rdernissen des Ganges kann natürlich im allgemeinen nicht erst durch den Ge-auch — als funktionelle Anpassung an den Gang selbst — in der Ontogenese tstehen. Man kann für wahrscheinlich halten, daß schon früh die relative Größe d Gestalt der Gelenkkörper und die Krümmung der Gelenkflächen, letztere

unter der Mitwirkung der Muskelspannungen und Bewegungen, bestimmt wird und deshalb auch die Hauptdispositionen der Bänder ausgeprägt werden. Besondere Untersuchungen müssen zeigen, wann in der Einzelentwicklung Verhältnisse wie die Position der Kreuzbänder sich entscheiden und von welchen Umständen sie abhängen. Eine solche Untersuchung sollte auch die übrigen, zahlreichen Korrelationen und Abhängigkeitsverhältnisse in Betracht ziehen, welche zwischen verschiedenen Einrichtungen des Kniegelenkes zu bestehen scheinen.

7. Zusammenfassung mit Bezug auf die Kreuzbänder.

Aus dem Angeführten geht hervor, daß bei der Beugung von einem Beugungswinkel von 30° an das hintere Kreuzband gespannt, das vordere aber mäßig entspannt ist. Bei Einwärtsrotation der Tibia kommt auch schon früh eine Anspannung des vorderen Kreuzbandes hinzu, während dieselbe bei auswärts rotiertem Unterschenkel erst bei höheren Beugungsgraden eintritt. Bei Fortsetzung der Beugung über den rechten Winkel hinaus winden sich die beiden Bänder mehr und mehr umeinander, spannen sich dadurch beide gegenseitig stärker an und setzen zusammen dem Weitergehen der Beugung einen rasch anwachsenden Widerstand entgegen. Vermöge seiner konstanteren Anspannung in der Beugestellung und seiner mehr mit der Längsrichtung des Unterschenkels übereinstimmenden Richtung ist das hintere Kreuzband, namentlich bei stark gebeugtem Knie und mittleren Beugestellungen, das eigentliche Fixationsband, welches den Zusammenhalt der Gelenkkörper sichert, zusammen mit Druckwiderständen an den inneren oder äußeren Kondylen die seitlichen Abhebelungen und Abdrehungen verhindert, die Beugung und Streckung aber und die Längsrotation des Unterschenkels zuläßt. Etwas zur Unterstützung dient das innere Seitenband; in extremen Rotationsstellungen nur kommt auch das äußere Kollateralband in Betracht. Mit der beständigeren Spannung des inneren Kreuzbandes und inneren Seitenbandes hängt es wohl zusammen, daß die Längsrotationen des Unterschenkels in der Beuge stellung um eine Achse geschehen, welche durch den medialen Condylus geht.

In stärkeren Beugestellungen hilft auch das äußere Kreuzband fixieren.

Das vordere Kreuzband aber ist das eigentliche Hemmungsband für das extensorische Drehgleiten der Tibia am Femur, während es der Abrollung nach vorn erst im letzten Augenblick der Streckung ein Hindernis setzt. Die gleichmäßige Rollung nach vorn aber wird durch das hintere Kreuzband schon früher gehemmt, während es das Drehgleiten noch zuläßt. Indem nun jene Wirkung des vorderen Kreuzbandes sich wesentlich am lateralen, diejenige des hinteren aber wesentlich am medialen Femurcondylus geltend macht, erklären sich auch die von H. Meyer, O. Fischer u. a. analysierten Erscheinungen, welche man unter den Begriff der Schlußrotation bei der Streckung zusammenfassen kann, anscheinend restlos.

γ) Die Schlußrotation bei der Streckung.

Der allerletzte Akt der Streckung des Kniegelenkes ist zwang-
g mit einer Auswärtsrotation des Unterschenkels resp. mit einer
wärtsrotation des Oberschenkels gegenüber dem Unterschenkel ver-
len.

Im Gegensatz zu komplizierteren und wenig befriedigenden Er-
ungen von H. Meyer u. a. hat zuerst Albrecht (unter Aeby)
Schlußrotation bei der Streckung auf die Anspannung des vor-
n Kreuzbandes zurückgeführt. Seinem Vorgange sind die meisten
eren Autoren gefolgt. Das hintere Kreuzband ist nicht in Betracht
gen worden. Trotz der lichtvollen Analyse der Bewegungsgeo-
ie des Kniegelenkes durch O. Fischer kann man sich immer noch
Frage vorlegen, ob es sich bei der eigentlichen Schlußrotation um
wirkliche Verschiebung des inneren Condylus des Femur an der
a nach hinten, resp. des inneren Condylus tibiae am Femur nach
handelt, oder ob die Mitte des inneren Femurkondyls bis zum
uß der Streckung noch vorrückt und nur relativ hinter derjenigen
äußeren Condylus zurückbleibt. Einstweilen halte ich es im Hin-
auf die bei der Streckung beteiligten Kräfte nicht für ausge-
ssen, daß gelegentlich auch ein wirkliches Zurückgehen des me-
n Femurkondyls am entsprechenden Condylus der Tibia beob-
et werden kann.

Mit vollem Recht hat bereits Albrecht nicht bloß nach der hem-
den Bandeinrichtung, sondern auch nach den bewegenden Kräften
agt. Diese suchte er in den Streckmuskeln des Knies. Ihren Einfluß
gte er in eine Komponente, welche parallel einer durch das vordere
uzband gehenden sagittalen Ebene wirkt und in eine Komponente
Drehung um dieses Band als Achse. Zuppinger bestreitet, daß
ndere Verhältnisse der Kniegelenkmuskeln die Schlußrotation be-
en können. R. Fick möchte die besonders kräftige Entwicklung
Vastus lateralis dafür verantwortlich machen und dem Tensor
iae latae eine Hilfswirkung zuschreiben. Beides ist ganz unwahr-
einlich; es ist in der Tat nicht wohl einzusehen, wie ein Zug in der
htung des Lig. patellare inferius, das zum Schluß deutlich nach
en absteigt, zu einer Auswärtsrotation der Tibia um eine hinter
Band aufsteigende Längsachse führen könnte. Ebensowenig ist
Tensor imstande, solches zu bewirken. Es könnte nur die im
le des Tractus ileotibialis wirkende Zugspannung dafür in Betracht
men. Ein erhebliches auswärtsrotierendes Moment kommt derselben
bei fast vollendeter Streckung des Knies nicht zu.

Meiner Meinung nach müssen bei der Schlußstreckung im Knie-
nk vor allem die am Hüftgelenk wirkenden Kräfte berücksichtigt
den.

In dieser Beziehung ist bemerkenswert, daß sich beim Stand auf
m Bein und namentlich beim Gang schon an und für sich, auch
die Kreuzbänder, ein Einfluß zur Einwärtsrotation des Ober-
enkels gegenüber dem durch seine Verbindung mit dem Fuß und

dem Boden am Einwärtsrotieren verhinderten Unterschenkel geltend macht. Muß ja doch hier die etwas zurückgebliebene, dem Standbein entgegengesetzte Rumpfseite im Augenblick der stärksten Beinstreckung an der Hüftseite des Standbeins vorbei in horizontaler Drehung nach vorn geführt werden. Der dem Boden aufgesetzte Fuß und der Unterschenkel leisten den am Oberschenkel nach innen drehenden Muskeln Widerstand, so daß ein Einfluß zur Einwärtsdrehung des Oberschenkels gegenüber der Tibia im Kniegelenk auch schon ohne die besondere Anspannung des vorderen Kreuzbandes vorhanden sein muß. Letztere braucht nicht notwendig schon vom ersten Beginn der Schlußrotation an vorhanden zu sein, sondern kommt vielleicht erst im weiteren Verlauf derselben hinzu, wo sie dann allerdings den äußeren Condylus femoris vorn zurückhält, während der innere (relativ) nach hinten ausweichen kann. Man darf aber nicht vergessen, daß zugleich die letzte Streckungsdrehung durch Vorwärtsrollung geschieht, so daß die Berührungslinie zwischen der Tibia mit dem inneren Condylus femoris vorn bleibt oder sogar am Femur noch etwas vorrückt, während sie sich am äußeren Condylus femoris noch ausgiebiger nach vorn verschiebt.

Wenn wir die Schlußstreckung in der angegebenen Weise deuten und ganz besonders betonen, daß der Condylus lateralis femoris durch das vordere Kreuzband gegenüber der Tibia festgehalten ist, während einerseits durch Rollung nach vorn ein letzter Rest von Streckungsdrehung, andererseits durch Kräfte vom Hüftgelenk her eine Einwärtsdrehung des Oberschenkels auf der Tibia stattfindet, so ergibt sich als Konsequenz, daß man als Längsachse für die Einwärtsrotation des Oberschenkels am Schluß der Streckung am besten eine durch den Condylus lateralis (Ansatz des vorderen Kreuzbandes) gehende Längslinie der Tibia annimmt (vgl. S. 356).

Auf die Lehre H. v. Meyers über die Bedeutung der Schlußrotation des Kniegelenkes für den aufrechten Stand werden wir in einem späteren Kapitel näher eingehen.

Die wichtigsten Anpassungserscheinungen des Gelenkbaues an die Funktion, mögen sie nun so oder anders entstanden sein, sind sicher bei denjenigen Aktionen und Gleichgewichtsstellungen zu erwarten, bei welchen die konstruktiven Elemente des Gelenkes am stärksten in Anspruch genommen werden. In dieser Hinsicht bedeutet es entschieden einen Fortschritt zu besserer Erkenntnis, wenn die Schlußrotation im Kniegelenk als Einwärtsrotation des Oberschenkels auf der Tibia aufgefaßt wird, wie dies namentlich auch durch H. Virchow geschehen ist. Daß die Schlußrotation, wenn sie eine Anpassung an die Verhältnisse des Standbeines darstellt, dann auch am freien Bein unter dem bloßen Einfluß der Kniegelenksstruktur zwangmäßig in gleicher Weise abläuft, kann naturlich nicht wundernehmen.

δ) Die Menisci.

1. Anatomisches. Bewegungsmöglichkeiten.

Die nach oben gewendeten überknorpelten Felder der Tibia sind plan, nur leicht ausgehöhlt; das mediale stellt eine mehr rundliche, ie Delle dar, das laterale bildet eine ganz seichte, vorn und hinten die Eminentia intercondyloidea sich etwas herumkrümmende Rinne. e Gelenkflächenfelder greifen in vorspringenden Winkeln an der nentia intercondyloidea etwas in die Höhe; das mediale auf ihre ere Seite, gegen einen medialen Höcker, das laterale an die Hinter-, gegen einen lateralen Höcker. Die mediale Gelenkfläche ist etwas er und reicht etwas weiter nach vorn als die laterale.

Über dem vorderen seitlichen und hinteren Randteil jeder Konfläche der Tibia liegt nun, als eine von der Gelenkfläche abgelöste, peripheren Rand jedoch mit der Gelenkkapsel in Verbindung geene, am vorderen und hinteren Ende mit der Endfläche der Tibia t verwachsene Polsterung je ein Meniscus. Beide Menisci sind von Fick nicht unpassend als C-Knorpel bezeichnet worden. Sie n faserknorplige Keile dar, deren Rücken nach der Gelenkkapsel leren Schneide nach dem Gelenkinnern gerichtet ist (s. Fig. 119). den Verbindungsstellen mit der Tibia nehmen sie rein fibrösen akter an, so daß zwei vordere und zwei hintere Meniscusbänder rschieden werden können.

Der mediale Meniscus ist annähernd halbmondförmig; seine en liegen sich vorn und hinten an der medialen Gelenkfläche der a fast gegenüber. Das vordere Ende verbindet sich zum Teil mit Tibia selbst; zum Teil ziehen seine Fasern als Lig. transversum u in den vorderen Rand des äußeren Meniscus quer hinüber; zum endlich strahlen Fasern in das vordere Kreuzband hinein. Das ere Ende des medialen Meniscus legt sich hinten und mehr nach en „als dreieckige quergebänderte Haut der dreieckigen abschüssigen he hinter dem medialen Zwischenhöcker an“ (R. Fick).

Der laterale Meniscus, fast zum Ring geschlossen, setzt sich der Area intercondyloidea unmittelbar nach vorn und hinten von Zwischenhöckern fest. Aus dieser ungleichen Form und Befestigsweise der Menisci folgt, daß der laterale Meniscus der beweglichere und namentlich in sagittaler Richtung größere Exkursionen machen n. Das Vorwärtspendeln seines hinteren Randes ist indessen dadurch hränkt, daß eine hintere Nebenwurzel desselben ins hintere Kreuzd übergeht und mit diesem an die mediale Femurrolle angeheftet (s. Figg. 121 und 151).

Über die Funktion und Bedeutung der Menisci besteht keine ständige Übereinstimmung der Ansichten. Niemand wird bezweifeln, daß sie ihren Anteil haben an der Ausfüllung der Schalträume schen den Gelenkkörpern und den fibrösen Teilen der Kapsel, ähnwie der Fettkeil der vorderen Kapselwand und daß sie zugleich mit die Kapsel (ihre dünnen und entspannten Teile) vor Einklemmung

schützen. Obschon in ihrer Form weniger veränderlich als der Fettkeil werden sie doch durch ihre Verschieblichkeit bis zu einem gewissen Grade imstande sein, entsprechend der Öffnung oder Schließung der Schalträume in das Innere der Gelenkhöhle vorzudringen oder aus demselben zurückzuweichen.

Es fragt sich nur, ob sie neben der Rolle, als verschiebliche Ausfüllungsmasse zu dienen, nicht auch noch eine bestimmte mechanische Funktion zur Sicherung der Stellung der Gelenkkörper und ihrer Bewegung gegeneinander übernehmen, eine Funktion, die man mit H. Virchow kurz als die „pfannenbildende" bezeichnen könnte.

Für Manche ist die Frage in negativem Sinne erledigt durch die Beobachtung, daß nach Wegnahme der Menisci der Charakter der Bewegungen zwischen Ober- und Unterschenkel nicht verändert ist.

Wir zweifeln an der völligen Richtigkeit dieser Beobachtung. Es ist ja von vornherein zu erwarten, daß bei erhaltenen Kreuz- und Seitenbändern auch ohne die Menisci eine Beuge- und Streckbewegung mit Drehgleiten und Rollung trotz der eingeschränkten Berührungsfläche möglich und gesichert sein muß; natürlich muß mindestens ebensoviel Spielraum zur Abänderung der Bewegung im einzelnen gegeben sein als bei erhaltenen Menisci; das Femurende wird über dem Ende der Tibia durch die Bänder fixiert bleiben; auch die Längsrotationen des Unterschenkels werden in den Mittelstellungen möglich sein. Es unterliegt aber keinem Zweifel, daß die Führung der Bewegung eine weniger sichere sein wird; es werden leichter Sperrungen eintreten; die extreme Beugung und Streckung muß in merkbarer Weise verändert sein usw. Auch daran ist kaum zu zweifeln, daß nach Entfernung der Menisci beim Lebenden der mechanische Apparat des Gelenkes mit der Zeit tiefergreifende Veränderungen und Schädigungen erfahren muß.

Daß die Menisci in mechanischer Hinsicht nicht bedeutungslos sein können, geht schon aus der Tatsache hervor, daß sie aus sog. Faserknorpel resp. einem Faserfilz bestehen, der gegen Pressung, Zerrung und Biegung erheblichen Widerstand zu leisten vermag. Eine angemessen breite und federnde Druckhemmung und Druckübertragung wie sie sonst an allen Gelenken vorkommt, ist am Kniegelenk nur möglich wenn sich die Menisci in erheblichem Maße daran beteiligen. Aus der terminalen Impressionen am vorderen Rand der tibialen Gelenkfläche des Femur ergibt sich, daß ihre vorderen Teile jedenfalls am Ende der Streckung auf Druck in erheblichem Maße in Anspruch genommen sind. Die gleich zu besprechenden Präparate Virchows zeigen ferner daß die hinteren Schenkel bei spitzwinkliger Beugung stärker komprimiert werden. Die verschiedenen Stellungsänderungen im Kniegelenk können nicht stattfinden, ohne daß die Menisci in ihrer Form und Lage verändert werden.

Aus der Festigkeit und der Art ihrer Befestigung aber geht hervor daß dies nicht ohne Widerstand geschehen kann. Wie sie sich im einzelnen bei den Bewegungen im Kniegelenk verhalten und wie sie dabei in Anspruch genommen werden, muß im folgenden noch genauer untersucht werden. Man wird aber nicht bestreiten können, daß sie nach

gabe ihrer mechanischen Inanspruchnahme auch ihrerseits die Be-ung der Gelenkkörper und die Inanspruchnahme des Bandapparates nflussen müssen.

erhalten der Menisci bei der Beugung und Streckung.

Wesentlich von Henke wurde die Lehre aufgestellt, daß bei der gung und Streckung die Bewegung zwischen den Femurkondylen den von der Tibia und von den Menisci gebildeten Pfannen vor sich , wobei zwischen den Menisci und der Tibia viel weniger umfängliche nbewegungen stattfinden, die zu der Winkelbewegung zwischen ur und Tibia nichts beitragen. Bei der Längsrotation des Unter-ukels in der Beugestellung finde dagegen die Hauptbewegung zwischen Tibia einerseits, den Menisci und dem Femur andererseits statt. m das Femurende bei der Streckung mit dem flacheren Teil der mmung der Pfanne aufliegt und bei der Beugung mit den stärker ümmten hinteren Teilen der Kondylen, so kann der breite Kontakt der Pfanne nur dadurch aufrecht erhalten werden, daß die vorderen hinteren Teile der Menisci bei der Beugung gegeneinander rücken; ier Streckung werden sie umgekehrt nach vorn und hinten auseinander ieben. Henke hat schon angenommen, daß dabei der hintere nkel der Menisci wesentlich an Ort und Stelle bleibt und daß es ntlich der vordere Schenkel der Menisci ist, der sich bewegt.

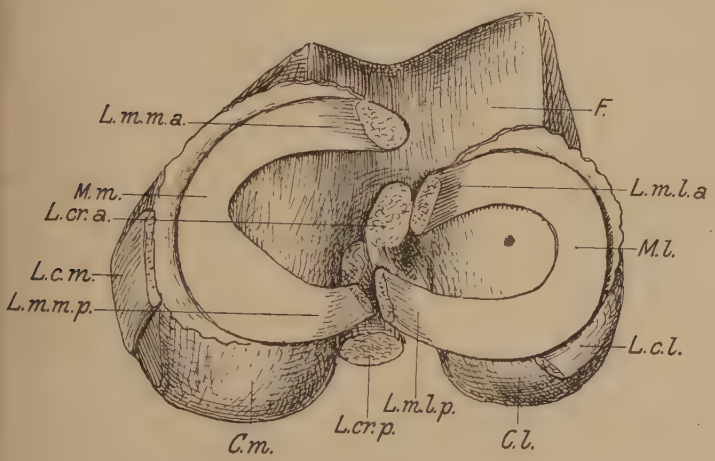


Fig. 159.

Jedes gute Bänderpräparat zeigt nun aber, daß diese Lehre insofern t ganz richtig ist, als der vordere Schenkel der Menisci bei der Beu-g in den vorn zwischen Tibiaendfläche und Femurkondylen sich enden und nach hinten vordringenden Winkel nicht vollständig ndringt. Insbesondere ist dies am medialen Meniscus nicht der

Fall; doch auch der laterale Meniscus bleibt schließlich mit seinem vorderen Schenkel vor dem Scheitel des Winkels vorn zurück, nachdem sich seine C-Form in eine U-Form umgewandelt hat. Man könnte einwenden, daß das Bänderpräparat nicht die Verhältnisse wiedergibt

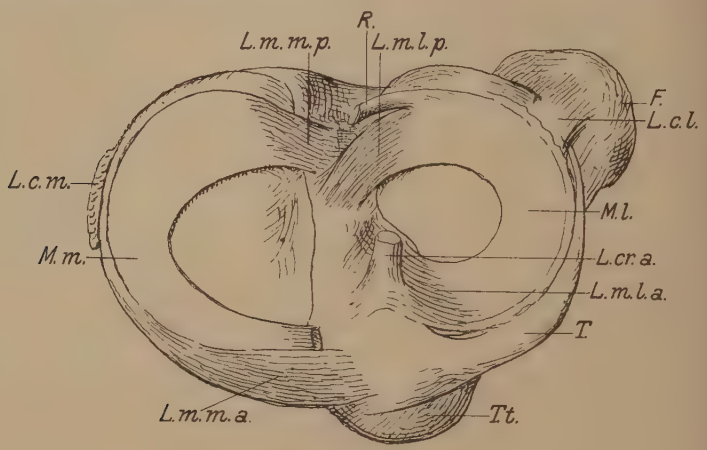


Fig. 160.

wie sie beim Lebenden vorkommen. Deshalb sind von Wert die Befunde an Präparaten, welche H. Virchow durch Gefrierenlassen von Leichen unter möglichst natürlichen Belastungsverhältnissen des gestreckten

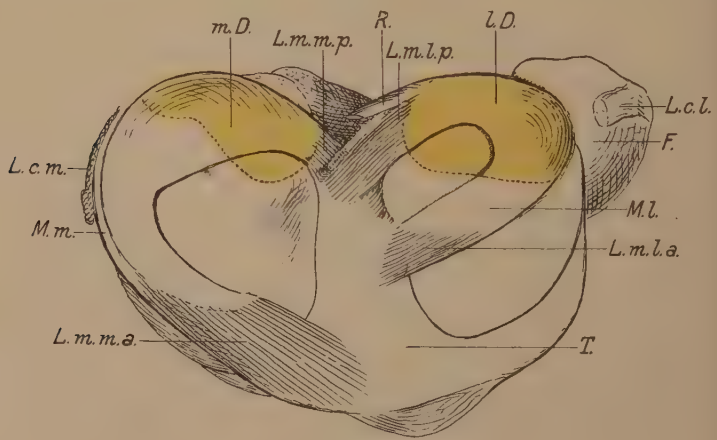


Fig. 161.

oder gebeugten Knies gewonnen hat. Die Kniegelenke wurden in de durch Gefrieren provisorisch fixierten Stellung dauernd erhärtet un sorgfältig bearbeitet. Die Virchowschen Präparate bestätigen vol kommen die oben angeführten Beobachtungen.

Wir reproduzieren nebenstehend in den Figg. 159 bis 161 die drei ißgebenden Abbildungen aus der Abhandlung von H. Virchow (1900). e Figg. 159 und 160 zeigen die Lage der Menisci zu der Tibia und zum mur in der Streckstellung. H. Virchow hat gefunden, daß in rselben die Menisci zwar rings herum mit dem Femur in Kontakt id, hinten aber von ihm nicht gedrückt werden.

In der spitzwinkligen Beugestellung dagegen, welche durch die g. 161 illustriert wird, finden sich die Menisci mit den Femurkondylen rn nicht in Kontakt. Die Berührungsstelle der Kondylen mit den nisci und der Tibia beschränkt sich auf die in unserer Figur mit Farbe zeichnete Stelle. Hier sind auch die C-Knorpel (namentlich der diale) stark komprimiert. Dabei sind die hinteren Teile der C-Knorpel it nach hinten geschoben; ihre vorderen Teile sind ihnen, soweit es Befestigungsstellen gestatten, nach hinten nachgezogen und gestreckt.

Es handelt sich bei dem zweiten Virchowschen Präparat um spitzklige Beugung. Die Druckfelder sind verhältnismäßig klein. Trotzm stellen sie mit Hilfe der Menisci zwei charakteristisch gekrümmte nnen dar, die zum größeren Teil von den Menisci gebildet sind und enbar in ihrer ganzen Ausdehnung den Druck aufnehmen. Ihre Form nicht ohne starken Widerstand veränderlich; so ist der stetige rtgang ihres Drehgleitens am Femur entlang den anterio-posterioren rümmungsprofilen gesichert, und zwar nicht bloß beim Zurückgleiten, ndern auch beim Vorgleiten. Es ist nicht durchaus notwendig, daß ch noch von vorn ein Meniscuskeil zur Vergrößerung der wirklich itzenden Pfanne eingeschoben ist.

Übrigens greift auch in dieser Stellung schon, wenigstens an der eralen Seite der stärker eingeklemmte Teil des Meniscus um die itere Rundung des Femurkondyls außen herum an die Vorderseite.

Bei weniger stark gebeugtem Knie muß das Druckfeld jederseits iter nach vorn ausgedehnt sein; weiter vorn gelegene Teile der Menisci issen seitlich und vorwärts hinausgeschoben und, da sie dieser Verhiebung federnd Widerstand leisten, eingeklemmt und gepreßt sein. it dem Druck wächst zugleich der Reibungswiderstand gegen die seithe Verschiebung. Die hinteren Schenkel der Menisci drängen federnd ch vorn nach und werden nicht sofort völlig entlastet. Von besonderer ichtigkeit aber scheint mir die Überlegung, daß jetzt zum mindesten n seitliches Stück der Menisci von genügender Länge eingeklemmt , unter Druck steht und zusammen mit einem kleineren angrenzenden il der Tibiaendfläche eine Pfanne bildet, welche den Druck in größerer eite aufnimmt und die stetige und sichere Weiterführung der Drehitung nach vorn oder hinten sichert.

Je weiter die Streckung fortschreitet, desto mehr greift der einklemmte, „pfannenbildende" Teil des Meniscus auch vorn um die murkondylen herum, während der hintere Querschenkel nunmehr llig entlastet sein kann. Daß am Ende der Streckung die vorderen ile der Menisci ganz besonders stark auf Druck in Anspruch genommen rden, ist früher gezeigt worden. Mit der Anordnung der Kreuzbänder ugt es wohl zusammen, daß an der lateralen Seite die vordersten Teile

des auf der Tibia befindlichen Faserpolsters bis zum Schluß der Streckung (oder auch der Auswärtsrotation der Tibia) noch nach vorn hinausgepreßt werden können und deshalb von der Tibia noch abgespalten sind, während an der medialen Seite bei der Streckung (und Einwärtsrotation) das Weichteilpolster so direkt von oben nach unten zusammengepreßt wird, daß es nicht auszuweichen vermag und deshalb mit der Tibia fest verbunden bleibt. Die Rollung nach vorn kann dann auf dem festgewachsenen vorderen Wurzelteil des Meniscus noch weitergehen.

Außen endet ziemlich gleichzeitig mit dem Drehgleiten der Tibia nach vorn die Rollung nach vorn und das Vorgleiten des Meniscus zwischen Femur und Tibia; auch hier kann die reine Rollung noch etwas weitergehen ohne Ausweichen des Meniscus, unter stärkerer Kompression desselben.

Indem die letzte Hemmung der Streckung durch Aufstemmen der Femurrolle auf den vorderen Rand der Pfannen und die hier aufliegenden vorderen Teile der Menisci stattfindet, bilden sich am vorderen Rand der tibialen Teile der Femurgelenkfläche jene früher erwähnten Grenzeindrücke (Impressiones terminales) aus. Der mediale Condylus gleitet wohl ganz am Schluß der Bewegung mit dem Innenrand auch noch etwas rückwärts, mit dem Vorderrand einwärts, um den Femuransatz des vorderen Kreuzbandes als Pivot; in geringerem Maße gleitet der laterale Kondyl vorn nach innen. Die Grenzeindrücke sind also zugleich Gleitrinnen. Da der laterale Meniscus verschieblicher ist und bis zum Schluß besser ausweichen kann als der vordere Teil des medialen Meniscus, auch wohl das machtvollere Anstemmen vorn am medialen Condylus stattfindet, so versteht man, daß die mediale Grenzrinne besser ausgeprägt ist als die laterale. Sie hat einen etwas schrägeren, bogenförmigen Verlauf nach innen und hinten.

Das Verhalten der Menisci bei stärkster Beugung ist durch H. Virchow (1900) besonders genau untersucht worden. Die hinteren Teile der Menisci können nur unter Widerstand (Anspannung der vorderen Schenkel) nach hinten geschoben sein. An den medialen Kondylen, wo das Drehgleiten der Tibia weitergegangen ist, steht der hintere Teil des Meniscus dem hinteren Rande der Femurgelenkfläche gegenüber und ist stark und eigentümlich komprimiert; noch weiter zurückgeführt ist der hintere Rand der Tibia selbst. An der lateralen Seite ist die Bandscheibe nicht in dieser Weise eingeklemmt, sondern findet sich immer noch in keilförmiger Gestalt hinter der Berührungsstelle zwischen Tibia und Femur, durch das femorale Befestigungsband (Robertsches Band) gegen das Oberschenkelbein zu hochgehalten. Vorn bleibt, wie wir gesehen haben, der Meniscus weit zurück.

3. Verhalten der Menisci bei der Längsrotation.

Das Bänderpräparat zeigt ferner, in welcher Weise sich die Menisci im gebeugten Kniegelenk bei der längsrotatorischen Nebenbewegung des Unterschenkels verhalten. Diese Nebenbewegung geschieht bei den Beugestellungen offenbar um eine Längsachse des Unterschenkels, welche von der Mitte des Gelenkes nach dem medialen Condylus abliegt. Indem der gebeugte Oberschenkel sich wie eine Kurbel gegenüber der Tibia bewegt, kreisen auf der proximalen Endfläche der letzteren die Femurkondylen umeinander und um die Eminentia intercondyloidea herum, wobei der innere Condylus geringere Exkursionen macht als der äußere.

Die Menisci werden von ihnen gleichsam gefaßt und teilweise mitnommen. Am medialen Sichelknorpel handelt es sich nur um eine ringe Vor- und Rückbewegung am Innenrand der Tibia, verbunden r seitlicher Verschiebung und Richtungsänderung gegenüber dem itenrand der Pfanne. Der laterale Sichelknorpel wird wie eine Schleife, um den Femurcondylus herumgelegt ist, von diesem nach hinten d vorn geschoben.

Obschon bei der Einwärtsrotation des Unterschenkels der innere murkondyl auf der Tibia im ganzen kaum nach vorn geht, wird ch die Mitte des inneren C-Knorpels deutlich nach vorn genommen; r vordere Schenkel gerät in eine Lage, welche zwischen derjenigen i extremer Beugestellung und Streckstellung ungefähr zwischen inne ht. Geht aber der laterale Femurcondylus, der die größeren Exkurnen macht, nach vorn (Auswärtsrotation des Unterschenkels), so wird r äußere C-Knorpel ungefähr ebenso als schmale Schleife nach vorn d außen gestellt, wie er bei der extremen Beugung nach hinten und ßen gerichtet ist. Die Mitten und die hinteren Schenkel der Menisci rden also in der Tat bei diesen Längsrotationen in stärkerem Maße ch vorn und hinten vom Femur mitgenommen, als es bei der Beugung d Streckung der Fall ist. So geschieht hier die Hauptbewegung in der t im wesentlichen zwischen dem Femur und den Menisci einerseits, n Tibiakondylen andererseits. Immerhin scheint es uns gerechtfert, die Menisci auch bei der längsrotatorischen Nebenbewegung zum annenboden zu rechnen und als beweglichere Teile desselben zu bechten. Die Spalten unter den C-Knorpeln können als Recessus bmeniscales bezeichnet werden. Ihnen die Bedeutung besonderer lenke zuzuweisen, ist eine überflüssige Komplikation.

Auch die Längsrotation des Unterschenkels in der Beugestellung nn bei weggenommenen Menisci in ziemlich typischer Weise vor sich hen, was weiter nicht verwunderlich ist. Es genügt ja zur zwangsäßigen Sicherung der Bewegung der Kontakt der Kondylen des Femur it den Gelenkflächen der Tibia und die Anwesenheit der Kreuzbänder. ie Auswärtsrotation des Unterschenkels wird durch die Kreuzbänder lein zum Schluß genügend gehemmt, bei der Hemmung der Einwärtstation kommen die Seitenbänder wesentlich in Betracht.

Einen gewissen federnden Widerstand müssen natürlich auch die ngsrotationen der Tibia in der Beugestellung durch die Menisci und re Verbindung vor allem mit der Tibia (aber auch mit der Gelenkpsel und dem Femur) erfahren, einen Widerstand, der gegen die renzstellungen hin zunimmt. Dazu kommt der Reibungswiderstand, r bei vorhandener Pressung der Menisci nicht unbedeutend sein wird.

Es sei hier beiläufig erwähnt, daß der im Kniegelenk zwischen Femur d Tibia herrschende Druck noch vielfach unrichtig bemessen und zu niedrig xiert wird. Er entspricht für den Fall der Feststellung des Gelenkes der Resulrenden der am Ober- und Unterstück angreifenden, gegeneinander wirkenden räfte. Das ist beim Stand in der Kniebeuge nicht bloß die Schwere des Oberückes und der entsprechende Anteil des am Unterstück angreifenden Widerndes des Bodens. Es kommt dazu noch die Spannung der Muskeln oder Bänder, lche dem drehenden Einfluß dieser äußeren Kräfte mit Bezug auf die Drehungs-

achse des Kniegelenkes Gleichgewicht hält. Für die Feststellung bei gebeugtem Knie sind die Beträge dieser Spannungen sehr groß. Ist beispielsweise in der Kniebeuge der Abstand der Schwerlinie des Oberstückes von der Kniegelenkachse viermal so groß als der Abstand der Strecksehne (Kniescheibe) von dieser Achse, so muß auch die in der Kniescheibe wirkende Spannung beiläufig viermal so groß sein als das Gewicht des Oberstückes. Der Gesamtdruck vom Oberschenkel zum Unterschenkel in der Gelenkfläche ist dann beiläufig das Fünffache des Gewichtes des Oberstückes.

Auch beim Stand mit annähernd gestreckten Knien ist natürlich in der Regel der Druck der Gelenkkörper gegeneinander durch die Muskelspannung, wenn auch nicht in diesem Maße, vermehrt.

Diese Verhältnisse, die bei den gewöhnlichen Manipulationen an einem Bänderpräparat nicht nachgeahmt werden, verdienen wohl Berücksichtigung, wenn man die Inanspruchnahme der Gelenkknorpel und Menisci im Lebenden richtig beurteilen will.

Fassen wir alles auf die mechanische Funktion der Menisci Bezügliche zusammen, so erscheinen sie uns als relativ feste, unvollkommen abgetrennte Teile des Pfannenbodens, welche zwar den Gang der Bewegung im Kniegelenk nicht in erster Linie bestimmen — dafür ist der Bandapparat und die Form der eigentlichen Gelenkkörper in höherem Grade maßgebend — welche aber doch modifizierend auf denselben einwirken, namentlich in den Grenzlagen. Sie tragen wesentlich zum federnden Charakter der Schlußhemmung der Exkursionen im Gelenk bei; aber auch in den mittleren Stellungen helfen sie die Festigkeit der Feststellung und die Stetigkeit der Bewegung sichern. Bei jeder Stellung des Gelenkes sind mindestens bestimmte Teile derselben stärker belastet und mehr oder weniger eingeklemmt, so daß sie den Kontakt vergrößern, eine breitere Übertragung des Druckes vermitteln und „pfannenbildende" Elemente darstellen. Da innerhalb gewisser Grenzen der Reibungswiderstand gegen das Herausgleiten der Keile rascher anwächst, als die Belastung, so steigert sich der Widerstand der von ihnen gebildeten Pfannenteile entsprechend dem Bedürfnis. Aus diesem Grunde sind sie auch ganz besonders geeignet, stoßartige Einwirkungen breit und federnd zu übertragen.

Hinsichtlich ihrer Entstehung sei auf die im I. Teil d. Lehrb. S. 112 gemachten Bemerkungen verwiesen. Durch die Abspaltung eines Teiles der Polsterung von dem darunterliegenden Gelenkkörper wird der Widerstand derselben gegen die Formveränderung der Pfanne nur in gewissen Richtungen vermindert; andere Teile der Widerstandsleistung aber bleiben bestehen.

Natürlich zeigen sich die Menisci in ihrem Verhalten von den bereits anderweitig bestimmten Bewegungen im Gelenk abhängig und diesen Bewegungen angepaßt. Von diesem Gesichtspunkt aus wird man die größere Verschieblichkeit des lateralen Meniscus, die vollkommenere Isolierung desselben zu einer fast nur an einer Stelle mit der Tibia verwachsenen Schleife, die größere Länge und tiefere Anheftung des vom Meniscusrand zur Tibia gehenden Kapselteiles usw. als Einrichtungen betrachten, welche durch den größeren Spielraum der Längsrotationsexkursion an der Seite der lateralen Kondylen bedingt und bewirkt sind.

E. Bewegungsumfang im Kniegelenk, Drehungseinfluß der Muskeln.

1. Grundstellung des Kniegelenkes.

Das Bein erscheint bei der Streckstellung des Knies in letzterem cht einwärts geknickt. In Wirklichkeit setzt sich die Längslinie er Hauptlinie des Oberschenkels und Oberschenkelbeins (seine r. mechanische Achse), welche den Mittelpunkt des Oberschenkelpfes und die Mitte des Kniegelenkendes verbindet, unter normalen rhältnissen ohne Richtungsänderung in die Hauptlinie (Längslinie, chanische Achse) des Unterschenkels fort, welche die Mitte des Kniegelenkendes des Femur mit der Mitte der Rollenachse des Sprungbeins rbindet. Die Beinlinie, d. h. die gerade Verbindungslinie der Mittelnkte des Hüftgelenkes und des oberen Sprunggelenkes trifft also unter rmalen Verhältnissen die Kniegelenkmitte.

Die Richtung des Femurschaftes weicht aus der Längslinie s Femur vom Knie an aufwärts, im Mittel um 5—7°, nach außen ab S. 8). Eine gerade Linie durch die untersten Punkte der beiden murkondylen weicht aus einer zur Femurlänglsinie senkrecht stehenden ene innen um ca. 3° nach unten ab und bildet mit dem Femurschaft ßen einen Winkel von ca. 81°. Die Richtung der Drehungsachse für das ehgleiten halbiert den äußeren Winkel zwischen Femurschaft und terschenkelachse, so daß der Unterschenkel dem Femurschaft, wenn ch in einem sehr flachen Kegelmantel, fast direkt zugeführt wird.

Ist der äußere Winkel zwischen Femurschaft und Längslinie des nterschenkels verkleinert, so geht die Beinlinie des gestreckten Beines ßen an der Mitte des Kniegelenkes vorbei, das Knie springt stärker ch innen vor (Genu valgum). Sind beide Beine in dieser Weise formiert, so resultiert beim geraden Stand eine X-Figur (X-Beine).

Daß bereits die normale Einknickung zwischen Unterschenkel und Femur- haft die Entstehung des Genu valgum durch anhaltendes Stehen begünstigt, nicht anzunehmen, indem sich ja die Belastung durch die Längslinie des Oberenkels und die Mitte des Knies in die Längslinie des Unterschenkels (Tibia) tsetzt. Die seitliche Ausbiegung des Femur bewirkt zunächst bloß, daß letzteres seitig auf Biegung in Anspruch genommen wird. Wohl aber ist zu berücksichen, daß beim Stand auf einem Bein durch das Ausweichen der Hüfte nach der deren Seite auch das Knie an die mediale Seite der Schwerlinie zu liegen kommt. e ganze Beinlinie weicht dann gegenüber der Schwerlinie aufsteigend nach nen ab, so daß es nun einseitig auf Biegung nach außen in Anspruch genommen . Anhaltendes Stehen auf einem Bein, namentlich bei vermehrter Belastung d verminderter Widerstandsfähigkeit des Skelettes, kann sehr wohl die Entehung eines Genu valgum begünstigen. In gleicher Weise schädigend wirken e Verhältnisse, unter denen in anhaltender oder übermäßiger Weise die über m Knie gelegene Körpermasse schräg von außen und oben gegen die Unterützungsfläche des Fußes gedrängt wird, Verhältnisse, die auch zugleich der Ausdung eines Knickfußes förderlich sind.

2. Bewegungsumfang der Beugung und Streckung.

v. Mikulicz (His' Archiv 1878) fand an einem großen daraufhin tersuchten Material (Kniegelenke ohne Muskeln) als Regel die Mög-

lichkeit einer Überstreckung im Betrage von 6—9°. Eine solche beobachtet man auch mitunter beim Lebenden, namentlich bei Kindern. Stärkere Hyperextensionen scheinen mehr auf Abknickung des Femur in der Gegend der unteren Epiphysenlinie zu beruhen. Aktive Beugung ist meist nur bis zu einem Beugungswinkel zwischen Ober- und Unterschenkel von 50°, von der Streckstellung aus demnach im Umfang von 130° möglich. Passiv kann die Beugung in der Regel so weit getrieben werden, daß die Ferse das Gesäß berührt (Heraufziehen des gebeugten Unterschenkels mit der Hand, Wirkung des Körpergewichtes in der Hocke. Orientalen, die lange Zeit in hockender Stellung zu verharren pflegen, können sich sogar zwischen den Füßen auf den Boden setzen, oder, wie die Japaner, auf die einwärts aufwärts gewendeten Sohlen der mit dem Fußrücken dem Boden aufliegenden Füße.

Hier sind von Ch. Havelock und Lamont (1910) besondere Grenzadaptionen des Gelenkes gefunden worden (zitiert nach H. Virchow und R. Fick). Auch durch Schleudern (Fortsetzung der Bewegung des Beines durch die gewonnene lebendige Kraft) kann ein „Anfersen" zustande kommen.

Der Weiterausdehnung der Beugebewegung stehen wechselnd große Widerstände entgegen: der Widerstand der gegeneinander pressenden Weichteile des Oberschenkels und der Wade (namentlich bei Beugungen über 150°) und Widerstände im Gelenk selbst. Genauere Angaben über letztere zu machen scheint mir bei dem federnden Charakter der Gelenkhemmung ziemlich gewagt zu sein.

A. E. Fick hat entgegen Henke den Nachweis geleistet, daß die aktive Beugung nicht deshalb nur bis zu 140° getrieben werden kann, weil die Kniegelenkbeuger vermöge ihrer Verkürzung aktiv insuffizient werden, sondern weil in dieser Stellung Ursprung, Ansatz und Drehungsachse in eine gerade Linie fallen. Es handelt sich also um eine „statische Insuffizienz". Bugnion hat diese Ermittelungen bestätigt; die Erklärung scheint mir aber nicht zuzutreffen für die Mm. gastrocnemii und vielleicht auch nicht für den kurzen Kopf des Biceps (Popliteus?).

Streckt man bei gebeugtem Hüftgelenk und maximal (aktiv) bis auf 140° gebeugtem Knie die Hüfte vollständig, so öffnet sich der Beugungswinkel des Knies nicht unbedeutend. Dies geschieht infolge der Anspannung und passiven Insuffizienz des Rectus femoris; vielleicht aber doch auch zum Teil wegen des Nachlassens in der Spannung der langen, das Hüftgelenk hinten überspringenden Kniegelenkbeuger, welche infolge der Bewegung im Hüftgelenk eintritt.

3. Umfang der Längsrotation. Torsion der Tibia.

Um einen sicheren Anhaltspunkt für die Beurteilung der stattfindenden Längsrotationen des Unterschenkels zu bekommen, ist vor allem notwendig, eine mittlere oder normale Längsrotationsstellung des Unterschenkels zu bestimmen. Die Längsrotationen des Unterschenkels werden an und für sich am besten angezeigt durch die Richtungsänderung des rechtwinklig zum Oberschenkel gebeugten Fußes gegenüber der

auptebene des unteren Femurendes, wobei allerdings jede Ab- und lduktion in den Gelenken des Fußes (eventuell durch feste Bandagie- ng) ausgeschlossen sein soll. Die Hauptebene des distalen Femur- des nehmen wir senkrecht zur Verbindungslinie der Epikondylen morale Kondylenquerlinie, Flexions-Extensions-Achse des Knie- lenkes in mittleren Beugestellungen), die Hauptebene des oberen biaendes senkrecht zu der Geraden, welche die Mitten der beiden ondylenflächen der Tibia verbindet (tibiale Kondylenquerlinie). e Hauptebene des oberen Tibiaendes weicht von der Hauptebene s unteren Femurendes um ca. 6° nach vorn und außen ab, bei ller Streckung des Kniegelenkes und eingetretener Schlußrotation.

Bei genau frontaler Stellung der tibialen Kondylenquerlinie bilden n die Längsachsen der Füße im normalen aufrechten Stand mit- nander einen nach vorn offenen Winkel von höchstens 25°. Die Knie- heiben sehen dabei ziemlich genau direkt nach vorn. — Beim gewöhn- hen, geraden, aufrechten Stand ist die Divergenz der Füße etwas größer 0° im Mittel), indem die Knie etwas nach außen gerichtet sind, und die nwärtsrotation des Oberschenkels im Hüftgelenk aufgehoben ist. ne noch größere Divergenz kann durch besondere Erziehung (Tanz- unde etc.) zur Gewohnheit gemacht sein, was aber keineswegs eine itzliche Errungenschaft darstellt.

In mittleren Beugestellungen können wir als mittlere Längs- tationsstellung des Unterschenkels im Kniegelenk jene ellung ansehen, in welcher die Hauptebenen des unteren Femur- id des oberen Tibiaendes zusammenfallen.

Nun ist aber noch zu berücksichtigen, daß die Stellung der Haupt- ene der Malleolengabel resp. der Talusrolle zur Hauptebene des oberen ibiaendes variiert, indem erstere Ebene gegenüber der letzteren bald ehr, bald weniger nach außen gedreht erscheint. Rein deskriptiv und me damit behaupten zu wollen, daß ursprünglich in der Ontogenese ler Phylogenese die beiden Hauptebenen genau zusammengefallen sind, at man die tatsächliche Drehung der beiden Ebenen gegeneinander als Torsion" der Tibia, den betreffenden Divergenzwinkel als „Torsions- inkel" bezeichnet.

v. Mikulicz fand im Mittel bei $^2/_3$ von 134 untersuchten Schien- einen einen Torsionswinkel der Tibia zwischen 5 und 20°. Die Extreme aren 0 und 48°. Man darf wohl annehmen, daß der Grad der Drehung urch den Gebrauch der Extremität beeinflußt wird und möchte ich dieser Hinsicht annehmen, daß eine stärkere Torsion der Tibia zustande ommt, wenn am Oberschenkel anhaltende stärkere Einflüsse zur Ein- ärtsdrehung beim Stehen und bei der Fortbewegung des Körpers am tandbein wirksam sind, entgegen Widerständen, welche den Fuß fest- alten. Es sollte mich z. B. nicht wundern, wenn bei Skifahrern eine ärkere Torsion des Schienbeins zur Ausbildung käme. In diesem alle könnte vielleicht auch die Einwärtsrotation des Oberschenkels egenüber der Tibia in den Streckstellungen etwas vergrößert sein, der henkelhals aber gegenüber der Epikondylenlinie des unteren Femur- des etwas weniger schräg nach hinten außen abweichen.

Was nun den Umfang der im Kniegelenk in der Beugestellung möglichen Längsrotation des Unterschenkels betrifft, so ist derselbe in mittleren Beugestellungen am größten (nach Fürst bei 75° Beugung). Nach Bugnion vergrößert er sich beim Kind; er nimmt offenbar auch mit darauf gerichteter Übung zu und scheint innerhalb gewisser Grenzen wesentlich von dieser abzuhängen. Nach ziemlich übereinstimmenden Angaben von H. Meyer, R. Fick u. a. kann er bei rechtwinkliger Beugung ca. 50°, bei etwas stärkerer Beugung 60° betragen. Natürlich ist das Vermögen, den gebeugten Unterschenkel ein- oder auswärts zu rotieren, wie auch R. Fick treffend hervorhebt, von der größten Bedeutung bei dem Vorsetzen des Fußes zwischen Hindernissen hindurch, beim Klettern, beim Einsetzen des Fußes in bestimmte Stufen, beim Gehen in Fels und Eis usw. Mindestens ebenso wichtig ist es aber, die Drehung um die Längsachse des Unterschenkels bei aufgesetztem Fuß ausführen zu können. Hier bewegt sich das Hüftgelenkende des Femur in Kreislinien um die Unterschenkelachse oder ihre Verlängerung nach der linken oder rechten Seite. Bei rechtwinklig bewegtem Knie erinnert die Bewegung des Oberschenkels an die Drehung eines Kurbelarmes. Sind beide Füße und Unterschenkel festgestellt, so kann die seitliche Bewegung in beiden Kniegelenken natürlich nur nach der gleichen Seite hin stattfinden. Vermöge dieser Bewegung kann der Rumpf in der Kniebeuge, namentlich ausgiebig in mittlerer Kniebeuge, zur Seite gebracht und zugleich gegenüber den Füßen um seine Längsachse gedreht werden. Mit den Bewegungen in dem Kniegelenk kombinieren sich Bewegungen in den unteren Sprunggelenken, und zwar wird der Unterschenkel durch letztere meist nicht bloß um seine Längsachse gedreht, sondern meist auch nach der Seite der Drehung geneigt.

Bei nicht ganz rechtwinkliger Beugung der Knie bewegt sich der Oberschenkel im Kegelmantel um die Längsachse des Unterschenkels. Eine solche Bewegung müßte zu einer Seitenneigung des Beckens führen, falls dieses mit dem Oberschenkel versteift wäre. Wie schon seitliche Bewegungen in den Hüftgelenken hinzutreten müssen, um eine gleichsinnige Bewegung der Oberschenkel zur Seite zu ermöglichen, so sind nun namentlich Beugungen und Streckungen (meist nach entgegengesetzten Seiten) in beiden Hüftgelenken und auch in den Kniegelenken notwendig, wenn das Becken aufrecht bleiben oder auch nach einer bestimmten Seite hin stärker geneigt werden soll.

4. Wirkungsweise der Muskeln am Kniegelenk.

a) Strecker des Kniegelenkes. Kniescheibe.

Der Quadriceps ist der einzige Strecker des Kniegelenkes, wenn wir von der ganz unwesentlichen streckenden Einwirkung des M. tensor fasciae latae absehen. Und zwar beschränkt sich die Aktion der Vasti einzig auf das Kniegelenk, während der Rectus femoris zugleich ein Muskel des Hüftgelenkes ist. Die Kraft des Quadriceps übertrifft diejenige sämtlicher am Oberschenkel gelegenen Beuger des Kniegelenkes mindestens um das Dreifache und ist immer noch erheblich größer als diejenige dieser Beuger und der an der Wade gelegenen Beuger des Kniegelenkes zusammengenommen. Von einer gesonderten und verschieden-

gen Wirkung der einzelnen Köpfe beim Lebenden ist nichts bekannt. ch gesonderte faradische Reizung des Vastus lateralis (an der frischen he) vermochte allerdings Duchenne eine Luxation der Kniescheibe h außen herbeizuführen; im allgemeinen aber sichert die gemeinsame ne und sichere Führung derselben mittels der in sie eingeschalteten iescheibe in der Patellarrinne die einheitliche Richtung des Muskel- es.

Beim Übergang aus der Streck- in die Beugestellung bleibt die fernung der mittleren Zugrichtung der Endsehne (Lig. patellare rius) von der Drehungsachse ungefähr dieselbe, indem sich zwar die ndylen auf die schmale hintere Seite stellen und die Patella nach en zurücksinkt, zugleich aber die Achse im Femur sich der hinteren ipherie der Kondylen nähert. Mit Recht aber kann man sagen, daß ch die Kniescheibe, namentlich in den mehr gestreckten Stellungen, Abstand der Zugrichtung von der Drehungsachse und damit das hungsmoment vergrößert wird. Auch vermindert das Vorhanden- der Kniescheibe die Breite der Berührung zwischen dem Zugstrang Muskels und dem Gelenkende des Oberschenkels und damit die bung. Ferner wird der Sehne ein allzustarker Wechsel von Biegung Streckung in größerer Länge erspart. Man hat auch hervorgehoben, die Kapsel durch die Kniescheibe über die scharfen Randkanten Femurrolle etwas emporgehoben und vor Schädigung geschützt d.

Aber alle diese Vorteile, welche mit der Einschaltung einer Knie- eibe in den Zugstrang des Quadrizeps verknüpft sind, haben, wie mir eint, nichts zu tun mit der entwicklungsmechanischen Notwendigkeit Bildung einer Kniescheibe. Vielleicht wird es einmal gelingen nach- weisen, daß die erste Andeutung einer besonderen Entwicklung eines iles der Quadricepssehne nach der Seite des Knorpels hin in eine Zeit lt, in welcher bereits Zugkräfte des Quadriceps wirksam sind, und an er Stelle auftritt, wo das Gewebe nicht bloß auf Zug in Anspruch ge- mmen ist, sondern sich unter Druck über die gefestigte Unterlage s Femur hinüberbiegt (vgl. Bernays, 1878).

b) Beuger.

Von den Beugern des Kniegelenkes wirken der M. popliteus und r kurze Kopf des Biceps nur auf dieses Gelenk. Die drei langen Oberschenkel gelegenen, am Sitzhöcker entspringenden Kniegelenk- uger (Semimembranosus, Semitendinosus und langer Kopf s Biceps) wirken auch am Hüftgelenk, und zwar wesentlich streckend.

Der Sartorius ist zugleich Beuger des Hüftgelenkes und des iegelenkes. Der Gracilis streckt das Hüftgelenk in den Streck- llungen desselben und beugt es in den Beugestellungen. Der M. plan- ris und die Gastrocnemii sind zugleich Strecker des oberen Sprung- enkes.

Es ist bekannt, daß das Knie beim Lebenden auch bei gebeugter üfte) s. u. nicht so weit aktiv gebeugt werden kann als am Gelenk-

präparat. Dies beruht zum Teil auf dem Anwachsen der Widerstände der Weichteile, zum Teil aber auf der Verkleinerung der drehenden Momente der Beugemuskeln, inbesondere des Semimembranosus, des Popliteus und der Gastrocnemii; und zwar beruht diese Verminderung, wie bereits oben hervorgehoben wurde, wesentlich auf der Verkleinerung des Hebelarmes der Kraftmomente.

Die Zugrichtung der letztgenannten Muskeln und des M. popliteus fällt, worauf zuerst A. E. Fick aufmerksam gemacht hat (1877), bei zunehmender Beugung des Knies mehr und mehr mit der Beugungsachse zusammen. Das beugende Moment der Gastrocnemii ist also nicht, wie die Gebrüder Weber angenommen haben, bei der Streckung am kleinsten, sondern am größten. Ähnliches gilt für die am Tuber ischii entspringenden Kniegelenkbeuger.

Nach Bugnion (1892) ist für den gleichen Drehungswinkel die Längenänderung des Semimembranosus am größten bei Beugestellungen zwischen 30 und 70°, sie ist sehr gering bei Beugestellungen zwischen 110 und 130° und jenseits derselben = 0. Diejenige des Biceps ist groß bei Beugestellungen zwischen 60 und 100°, bei stärkerer Beugung wird sie rasch verringert, der Muskel verkürzt sich aber bis zum Schluß der möglichen Beugung immer noch etwas. Letzteres gilt auch für den Semitendinosus, sowie für den Gracilis, indem diese Muskeln weiter vom Gelenk abrücken als der Semimembranosus. Am Lebenden werden sie durch die Faszie etwas zurückgehalten.

R. Fick und C. Fürst haben die Vermutung ausgesprochen, daß der M. popliteus gar kein Beuger, sondern ein Strecker des Kniegelenkes ist. Doch überzeugt man sich am Bänderpräparat, daß dieser Muskel sich bei der reinen Streckung spannt und bei der reinen Beugung erschlafft, allerdings deutlicher nur in seiner Kontinuität mit dem medialen Schenkel des Lig. arcuatum. In seiner Kontinuität mit dem lateralen Schenkel des Lig. arcuatum erschlafft er bei Einwärtsrotation des Unterschenkels und spannt er sich bei Auswärtsrotation. Er ist also ein ausgesprochener Einwärtsrotator des Unterschenkels in der Beugestellung, und es kann sein, daß er sich in dieser Stellung bei der Streckung des Knies verkürzt, namentlich in seinen lateralen Partien, wenn die Streckung mit starker Einwärtsdrehung des Unterschenkels verbunden ist.

c) Längsrotatierende Wirkung der Muskeln.

Was den Einfluß der Kniegelenkmuskeln auf die Längsrotation des Unterschenkels in der Beugestellung betrifft, so sind der Popliteus, der Sartorius, Gracilis, Semitendinosus und Semimembranosus Einwärtsrotatoren. Beide Köpfe des Biceps dagegen müssen als Auswärtsrotatoren betrachtet werden. Ihre diesbezügliche Einwirkung ist am günstigsten, soweit die Lage zur Drehungsachse in Betracht kommt, bei rechtwinkliger Beugung, für die weiter unten am Unterschenkel angesetzten Muskeln vielleicht auch bei etwas stärkerer Beugung. In der Streckstellung ist eine solche Einwirkung so gut wie 0, indem die genannten Muskeln, mit Ausnahme des Popliteus annähernd in der

srichtung des Unterschenkels verlaufen. Der Popliteus kann durch Spannung der stärkeren Einwärtsrotation des Femur auf der Tibia gegenwirken.

R. Fick hat für die Kniemuskeln nach den von A. E. Fick (His' iv 1879) gemessenen maximalen Längenänderungen bei der Beugung Streckung im Knie und den von Ed. Weber berechneten Querittsgrößen (nicht emendierter physiologischer Querschnitt) die itsleistung berechnet. Wir geben seine sehr lehrreiche Tabelle im nden wieder. Die Spannung pro 1 qcm physiologischen Querschnitt uch hier = 10 kg genommen:

Muskelname	Verkürzung in m	Querschnitt in qcm	Arbeit in kg/m
trecker:			
asti.	0,080	148,30	118,640
ectus femoris	0,081	28,89	23,400
ensor fasciae latae . . .	0,010	7,56	0,756
			142,796
euger:			
emimembranaceus . . .	0,064	26,38	16,833
emitendinosus	0,134	7,27	13,242
iceps femoris	0,059	17,37	10,240
racilis	0,075	4,11	3,082
artorius	0,070	3,17	2,319
			45,774

Auch für die Längsrotation hat R. Fick das Arbeitsvermögen in licher Weise festgestellt; er findet für den M. biceps und den Tensor ciae latae (Auswärtsrotatoren) zusammen bei 37,5° Rotation ein beitsvermögen von 5,538 Kilogramm/Meter; für die Einwärtsrotatoren r zusammen ein Arbeitsvermögen von 6,036 Kilogramm/Meter.

Aus der Tabelle von R. Fick ergibt sich, daß nicht bloß dem Ge ht nach, sondern auch bezüglich des Arbeitsvermögens die Strecker s Kniegelenkes den Beugern um mehr als das Dreifache überlegen sind. ne ähnliche Erscheinung zeigt sich an den Muskeln des Sprunggelenkes d des Fußgelenkes. Dies ist eine Eigentümlichkeit des Menschen. i den Vierfüßlern und selbst bei den höheren Affen ist das Übergewicht r Strecker über die Beuger kein so großes und hängt dies offenbar mit n aufrechten Stand und Gang des Menschen zusammen (R. Fick). e vom Oberschenkel kommenden Beuger sind mit ihren Ansätzen Unterschenkel beim Menschen im Vergleich zu den Tieren mehr gen das Kniegelenk verschoben, wie ich vermute vor allem wegen der rkeren Entwicklung der Muskulatur der Wade.

IV. Das Bein als Ganzes. Kombinierte Aktion an den Hauptgelenken.

α) Die Feststellung der Beingelenke beim Stand.

Die Theorie von H. v. Meyer.

H. v. Meyer hat festzustellen gesucht, welche Skeletthemmungen bei der aufrechten Haltung des Körpers geeignet sind, die Feststellung in den Gelenken zu unterstützen oder allein zu bewirken.

1. Er nimmt an, daß bei normaler Haltung der Rumpf in den Hüftgelenken in maximaler Extension sich befinde, unter Anspannung der Lig. ilio-femoralia auf den Schenkelköpfen nach hinten hänge und wesentlich nur durch die Spannung dieser Bänder gehalten werde. Der einwärtsrotierenden, auf das Femur wirkenden Komponente seiner Spannung werde nur durch den Widerstand der auswärtsgestellten Füße gegen die Einwärtsdrehung des Beines Gleichgewicht gehalten.

Dieser Lehre stehen nun aber gewichtige Bedenken entgegen. Bei normaler aufrechter Haltung, wenn Bauch und Becken nicht ungebührlich vorgestreckt sind, und der Rumpf nicht stark zurücklehnt, befindet sich das Hüftgelenk tatsächlich nicht in maximaler Extension. Es läßt sich das eine Bein ohne Mitbewegung des Beckens noch erheblich rückwärts drehen. Auch lassen sich bei guter aufrechter Haltung die Füße auswärts oder einwärts stellen, ohne daß die Beckenneigung im ersten Fall vermindert, im zweiten vermehrt wird. Bei sehr starker Auswärtsrichtung der Fußspitzen allerdings macht sich namentlich bei starker Aufrichtung des Beckens in den Hüftgelenken der Widerstand der Ligg. ilio-femoralia geltend in einer Tendenz zur Einwärtsdrehung der Beine mit den Sprungbeinen um vertikale Achsen gegenüber dem aufgesetzten Fuß. Die Einwärtsdrehung muß notwendigerweise mit einer Umlegung des Calcaneus nach dem inneren Fußrand hin usw. verbunden sein.

Aus ähnlichem Grunde hebt sich bei starker Längsdrehung des Rumpfes nach links auf dem rechten Standbein schließlich der äußere Fußrand, indem das Bein zuletzt der Drehung des Rumpfes folgen muß.

ekehrt hebt sich zuletzt der innere Fußrand bei Drehung des Rumpfes der Außenseite des Standbeins, indem hier die Einwärtsdrehung berschenkels im Hüftgelenk nicht weiter gehen kann und das Bein Drehung des Rumpfes nach außen nachgezogen wird. Beim Stand auf beiden nach vorn divergierenden Füßen, wenn weder die Über- ker der Hüfte, noch die Auswärtsrotatoren des Oberschenkels im gelenk besonders angestrengt sind, macht sich keine längsrotierende irkung auf das Bein und den Fuß seitens der Ligg. ilio-femoralia rkbar. Demnach kann auch nicht durch eine Längsrotation des rschenkels ein Widerstand in den oberen Sprunggelenken hervor- en sein, welcher die Bewegung um die Drehungsachsen dieses kes hindert, wie solches von H. v. Meyer angenommen wurde.

2. Als weiteres Moment, welches zur Feststellung des oberen Sprung- kes beitragen soll, hat H. v. Meyer die Richtung der Flexions- en dieser Gelenke ins Feld geführt. Sie divergieren schon bei nander geschlossenen Füßen nicht unerheblich nach vorn, und diese rgenz steigert sich bei vorn auseinanderstehenden Füßen leicht zum rechten Winkel. Bei fixierten Kniegelenken sei deshalb die ion in diesen Gelenken gehemmt, eine Vorbewegung des Unter- kels resp. des ganzen Beines unmöglich. Demgegenüber ist zu be- en, daß sich sehr wohl mit der Bewegung im oberen Sprunggelenk solche in den unteren Sprunggelenken im Sinn der Supination binieren kann, wobei der Unterschenkel über den Innenrand der alaren Fußplatte nach vorn pendelt und zugleich etwas auswärts- rt (zur besseren Längsstellung des Talus im Fuß). Die Supination nteren Sprunggelenk ist zunächst nicht gehemmt, erst bei weiterem schritt derselben müßte der äußere Fußrand gehoben werden.

3. Prüfen wir auch noch die Bedingungen für das Vorgehen der erschenkel bei gleichzeitiger Beugung im Knie- (und Hüft-) Gelenk, rgibt sich hierüber folgendes:

Die Flexionsebene des Kniegelenkes divergiert gegenüber derjenigen oberen Sprunggelenkes nach vorn und innen. Bleibt bei vorn inander stehenden Füßen die Talusrolle horizontal, so müssen beim sinken in die Kniebeuge die Knie auseinander gehen und die Epi- dylenlinien müssen sich etwas nach außen neigen. Die Flexions- nen der Knie müssen nach vorn divergieren und zugleich etwas n außen geneigt werden. Die Hüftgelenke lassen aber eine derartige stellung zu. Wenn nicht die Beugung des Knies und der Hüfte ch die Streckmuskeln, oder das Auseinandergehen der Knie durch Einwärtsrotatoren und Adductoren des Hüftgelenkes gehemmt ist, besteht gegen das Einsinken des Körpers in die Knie und Sprung- nke unter dem Einfluß der Schwere absolut kein Hindernis in Gelenken selbst.

Eine Beugung im Kniegelenk bei nach vorn divergierenden Füßen aber innerhalb gewisser Grenzen der Divergenz auch möglich, ohne die Knie auseinandergehen, bei aneinander geschlossenen Beinen; müssen dann die Achsen der Talusrollen fast frontal gestellt sein dürfen nur ganz wenig nach hinten und außen gehen. Je stärker

die Füße nach vorn divergieren, desto mehr muß bei Kniebeugung mit geschlossenen Knien der Talus gegenüber dem Fuß quergestellt sein, was nur durch Pronation in den unteren Sprunggelenken ermöglicht werden kann; es werden dafür in der Regel die pronatorischen Muskeln stark in Anspruch genommen. Die Bewegung des Unterschenkels über den inneren Rand des Fußes ist also hier nicht mit Supination in den unteren Sprunggelenken mit Auswärtsrotation des Unterschenkels verbunden. Indem die Querstellung des Talus bei geschlossener Vorführung der Unterschenkel weiter aufrecht erhalten wird, muß eine fortschreitend zunehmende Hebung des äußeren Fußrandes stattfinden.

Je stärker die Füße divergieren und je weiter die Kniebeugung fortschreitet, desto schwieriger ist die Fortführung der Bewegung. Es müssen auch an der Hüfte stark einwärtsrotierende Kräfte, an deren Stelle bei der Fortführung der Bewegung mehr und mehr adduzierende Kräfte treten, auf den Oberschenkel einwirken.

Bei sehr starker Divergenz der Füße nach vorn, bei welcher sich bereits in der Streckstellung der Widerstand des Hüftgelenkes gegen die Auswärtsrotation der Beine in der Weise geltend macht, daß die Tali um vertikale Achsen gegenüber dem Fuß maximal quer gestellt sind (unter Erhebung des äußeren Fußrandes vom Boden) ist allerdings eine Beugung nach vorn mit zusammenbleibenden Knien nicht möglich, weil die Achsen der oberen Sprunggelenke nicht weiter einwärts gedreht werden können.

4. Ein letztes Moment, welches nach H. v. Meyer die Feststellung der Gelenke der unteren Extremität beim aufrechten Stand ohne Mitwirkung der Muskeln begünstigen soll, ist die „Schlußrotation im Kniegelenk". Der Oberschenkel soll nach H. v. Meyer durch die Spannung der Ligg. iliofemoralia in einwärtsgedrehter Stellung gegenüber dem Unterschenkel festgehalten werden. Eine Beugung sei ohne Lösung der Schlußrotation, also ohne vorausgehende Auswärtsrotation des Oberschenkels nicht möglich. Nun sind, wie schon erwähnt wurde, beim gewöhnlichen aufrechten Stand die genannten Bänder tatsächlich nicht in der von Meyer angenommenen Weise stark angespannt. Eine vom Becken her stattfindende Einwirkung zur Einwärtsrotation kann höchstens seitens der Muskeln ausgeübt werden. Aber selbst wenn sie auch beim ruhigen Stand vorhanden wäre, so würde sie den sofortigen Beginn der Beugebewegung, sobald die Schwerlinie des supratibialen Körperabschnittes hinter die Drehungsachse des Kniegelenkes fällt, nicht hindern.

Die Beugung und Streckung des Knies erfolgt am ungezwungensten in Ebenen, welche nach vorn etwas divergieren (beim Stand auf vorwärts divergierenden Füßen). Die Schlußrotation bei der Streckung ist dann mit Pronation im unteren Sprunggelenk verbunden und hilft dieses Gelenk feststellen. Nachlassen der Spannung der Hüftmuskeln, welche den Oberschenkel einwärts rotieren, hebt diese pronatorische Feststellung auf und wird durch sie nicht gehindert.

Endlich ist zu bemerken, daß an dem sich streckenden Bein, der Fuß dem Boden aufgesetzt ist, der Unterschenkel tatsächschon auswärts rotiert ist. Nicht der Unterschenkel, sondern der henkel muß durch eine besondere Drehung in die Schlußrotastellung übergeführt werden. Umgekehrt kann nun auch aus der Brotationsstreckstellung des Knies unmittelbar in die Beugung geschlossenen Unterschenkeln, ohne besondere Auswärtsrotation nterschenkels übergegangen werden. Um so leichter ist der Über- in Beugestellungen möglich, wenn dabei die Knie auseinander dürfen und allfällige Muskelkräfte, welche den Oberschenkel in Streckstellung einwärtsrotiert (und adduziert) halten, nachlassen.

Aus allem dem geht hervor, daß es wesentlich die Muskeln sind, welche gewöhnlichen geraden Stand das Hüftgelenk feststellen, die Oberkel im Knie zusammen und in Schlußrotationsstellung, den Fuß n unteren Sprunggelenken in Pronationsstellung festhalten. Ebenso as obere Sprunggelenk einzig durch die Muskeln festgestellt.

Das einzige Gelenk, welches beim aufrechten geraden Stand passiv n seine eigenen Widerstände gegenüber der Schwere festgestellt sobald die Schwerlinie der supratibialen Körpermasse vor der ungsstreckungsachse vorbeigeht, ist das Kniegelenk und gerade ieses Gelenk müßte nach den Anschauungen H. v. Meyers über den chten Stand, nach welchen die Hüften nach vorn durchgedrückt eine Lage der Schwerlinie der supratibialen Körpermasse hinter Kniegelenkachsen angenommen werden. Wir kommen demnach em Schluß, daß die durch H. v. Meyer aufgestellte Lehre von den ichtungen, welche die Feststellung der Gelenke der unteren Extret beim aufrechten Stand ohne Mitwirkung der Muskulatur instigen sollen, unhaltbar ist. Die Feststellung geschieht im meinen nicht in extremsten Lagen und passive Sperrvorrichtungen einem Gelenk zum anderen sind im allgemeinen nicht vorhanden. Feststellung geschieht fast immer unter Mitwirkung der Muskeln, n auch die Ansprüche an die Muskelspannung relativ geringe sind, m das Oberstück sich mehr oder weniger nahe der labilen Gleichchtslage befindet.

Abhängigkeit der Beingelenke voneinander bei der Bewegungsaktion.

rscheinungen an den zwei- und mehrgelenkigen Muskeln.

Von großem Interesse sind im Gelenkmechanismus der unteren emität alle die Erscheinungen, welche mit der Zwei- und Mehrnkigkeit der Muskeln zusammenhängen. Vor allem kommt die sog. aktive und passive Insuffizienz der zwei- und mehrkigen Muskeln in Betracht. Folgende Tatsachen lassen sich leicht tatieren und sind auch wohl allgemein bekannt.

1. Die Unmöglichkeit, das Knie vollständig zu strecken bei gleichzeitiger maximaler Beugung im Hüftgelenk. Der Grund ist offenbar die ungenügende Dehnbarkeit (passive Insuffizienz) der langen Kniegelenkbeuger des Unterschenkels und die ungenügende Verkürzungsfähigkeit (aktive Insuffizienz) des Rectus femoris.

2. Die Unmöglichkeit, das Knie bei völlig gestreckter Hüfte maximal (so weit wie bei gebeugtem Hüftgelenk) zu beugen. Der Grund dafür ist die passive Insuffizienz des Rectus femoris und die aktive Insuffizienz der langen Kniegelenkbeuger am Oberschenkel.

3. Als Gegenstück zu diesen Erscheinungen: die Unmöglichkeit, die Hüfte bei völlig gestrecktem Knie maximal zu beugen oder sie bei maximal gebeugtem Knie völlig zu strecken.

4. Der Vollständigkeit halber sei auch noch daran erinnert, daß bei gestrecktem Knie die Fußbeugung nur bis zur rechtwinkligen Stellung des Fußes zum Unterschenkel vollzogen werden kann. Der Grund dafür ist die passive Insuffizienz der Mm. gastrocnemii (und des Plantaris long.). Erzwungene maximale Beugung des Fußes ist ein Hindernis für die maximale Streckung des Kniegelenkes.

Auf die Abhängigkeit der Leistungen bestimmter Kniegelenkmuskeln von einem zweiten Gelenk außer dem Kniegelenk hat bereits Borelli (1687) hingewiesen. Er zeigte durch Versuch, daß beim Stand auf einem Bein vom andern Bein, bei vertikal gestelltem Femur und rechtwinklig gebeugtem Knie an der Ferse ein größeres Gewicht getragen werden kann bei vorwärtsgebeugtem als bei aufgerichtetem Rumpf (Unterschied in der Wirkungsweise der langen Kniegelenkbeuger des Oberschenkels). Die Verhältnisse der zweigelenkigen Muskeln sind dann von den Gebrüdern Weber (1847), von A. Fick (1867), Duchenne, C. Hüter (1869) und besonders von A. E. Fick (1879) behandelt worden (vgl. den Allgemeinen Teil dieses Lehrbuches, S. 178).

2. Die Bedeutung der zweigelenkigen Muskeln.

C. Hüter unterschied die „absolute Insuffizienz", die Unfähigkeit des Muskels, eine Gelenkbewegung zu unterstützen, weil er sich nicht weiter aktiv verkürzen kann, und die relative Insuffizienz, d. h. die Unfähigkeit eines Muskels, sich weiter dehnen zu lassen, wo durch er bestimmte Gelenkbewegungen zu verhindern vermag.

Mit Henke bezeichnen wir die erste Art von Insuffizienz als aktive, die zweite als passive Insuffizienz.

Schon Borelli hat erkannt, daß zweigelenkige Muskeln unter Umständen an dem einem Gelenk nützliche Arbeit leisten, zugleich aber am zweiten Gelenk schädlich, nämlich der wirklich stattfindenden Bewegung entgegenwirken können. Ihre hemmende Einwirkung am zweiten Gelenk muß dann durch um so größere Anstrengung der sich verkürzenden besonderen Muskeln dieses Gelenkes überwunden werden. Die späteren Autoren haben sich im allgemeinen bemüht darzutun, wie dieser schädliche Einfluß tatsächlich möglichst herabgemindert, oder wie der Nachteil durch einen anderweitigen Vorteil ausgeglichen wird. Die Gebrüder

ber glaubten, daß bei der Erhebung aus der Kniebeuge die Gastro-
nii erst anfangen sich zu spannen, wenn das Kniegelenk beinahe
reckt und der Hebelarm der genannten Muskeln an diesem Gelenk
klein geworden ist. C. Hüter stellte sich vor, daß die Muskeln
r gerade gestreckt (und gedehnt?) werden müssen, um mit Erfolg
iten zu können. A. Fick wies darauf hin, daß ein Muskel, der
ängig der Reizung mit geringem Kraftaufwand gedehnt worden
nun im Tetanus eine viel größere Kraft zu entfalten und eine un-
ältnismäßig große Arbeit zu leisten vermag.

Demgegenüber machte A. E. Fick mit Recht geltend, daß meist
Verlängerung des Muskels im einen Gelenk der nützlichen Arbeits-
ung (Verkürzung) desselben im anderen Gelenk nicht vorausgeht,
ern gleichzeitig damit stattfindet. Er hat dies speziell für den
us femoris bei dem Vorgang der Erhebung des Körpers aus der
beuge in den aufrechten Stand nachgewiesen. Duchenne und
entlich A. E. Fick legen das Hauptgewicht darauf, daß durch die
hzeitige Dehnung des Muskels in dem einen Gelenk der Abfall der
anung bei der Verkürzung im anderen Gelenk verlangsamt wird,
m die Verkürzung des Muskels, welche mit der positiven Arbeits-
ung am ersten Gelenk verbunden ist, durch die Verlängerung, welche
ei der Bewegung im zweiten Gelenk erfährt, teilweise aufgehoben
i. (Natürlich wirkt der Muskel an demjenigen Gelenk mit einem
eren Kraftmoment, an dem er sich bei gleicher Winkeldrehung mehr
ürzt und umgekehrt.) Auf diese Weise wird tatsächlich das Arbeits-
aögen des Muskels für das erste Gelenk vergrößert.

So kommt beim Steigen die Arbeit, welche die Hüftgelenkstrecker
eisten haben, um den Rectus femoris im Hüftgelenk zu dehnen, der
eitsleistung am Kniegelenk zugute, und bei der gleichzeitigen Streckung
Knie- und Fußgelenkes leisten die Strecker des Kniegelenkes einen
ihrer Arbeit durch Vermittlung der Gastrocnemii am Fußgelenk.

Wie wenig ökonomisch eine solche indirekte Arbeitsleistung ist,
man sich wohl nicht genügend klar gemacht. Unter Berücksichtigung
im Allgemeinen Teil d. Lehrb. (S. 136) erörterten Beziehungen
schen Nutz- und Arbeitsleistung des Muskels und Stoffumsatz er-
sich, daß durch Mehranstrengung der Vasti mit ca. $^1/_3$ des Stoff-
satzes am Kniegelenk dieselbe Arbeit geleistet werden könnte, welche
ihm vom Rectus durch Übertragung der Arbeitsleistung der Hüft-
nkstrecker geleistet wird. Entspricht ja doch der Rectus zwei
nander fortgesetzten eingelenkigen Muskeln, einem Strecker des
egelenkes und einem Beuger des Hüftgelenkes (wobei allerdings
ch die Vereinigung aus den unten zu besprechenden Gründen viel-
ht $^1/_4$ an Faserlänge gespart ist, s. u.). Statt daß nun bloß der
egelenkteil mit einer bestimmten mittleren Spannung s tätig ist,
ß in dem ungefähr ebenso großen Hüftgelenkabschnitt und in einer
sprechend großen Masse von Hüftgelenkstreckmuskulatur (unter der
nahme gleich großer Hebelarme) die gleiche mittlere Spannung s
istet werden, was im ganzen einen ungefähr dreimal größeren Auf-
nd an Stoffumsatz bedingt. Auch A. E. Fick hat wohl das Un-

ökonomische in der genannten Übertragung der Arbeitsleistung nicht genügend eingesehen, wenn er meint, es werde der Nachteil überwogen durch den Vorteil, daß die arbeitende Muskulatur auf ein proximaleres Gelenk verlegt sei. In Wirklichkeit ist ja das Kniegelenk nicht entlastet und der Kniegelenkteil des Rectus nicht überflüssig gemacht. Wie gefährlich es aber ist, in den zweigelenkigen Muskeln nützliche Einrichtungen zur Arbeitsübertragung von einem Gelenk auf das andere zu sehen, dafür liefert die Auffassung von Bugnion ein Beispiel. Dieser Autor betrachtet — fälschlich — die am Tuber ischii entspringenden Kniegelenkbeuger als die hauptsächlichen Strecker des Hüftgelenkes und nimmt an, daß sie durch Vermittlung des Hüftbeins und des Rectus das Kniegelenk strecken helfen, während sie direkt am Kniegelenk beugend wirken. Das wäre in vollem Sinne des Wortes ein Circulus vitiosus!

Wir kommen also zu dem Schluß, daß die Mitwirkung der zweigelenkigen Muskeln bei einer Aktion, die in der Öffnung des einen und in der Schließung des anderen übersprungenen Gelenkes besteht, in der Tat unökonomisch und mit einer Verschwendung von Muskelkraft verbunden ist, und daß diese Mitwirkung nur deshalb stattfindet, weil wir nicht gelernt haben, sie auszuschalten. Wir sind vielmehr von den zahlreichen Fällen her, in denen die Muskeln gleichzeitig an den beiden unterliegenden Gelenken nützlich wirken können, gewöhnt, sie zugleich mit den unterliegenden eingelenkigen Muskeln in Spannung zu versetzen, auch wenn sie an dem einen der beiden Gelenke ungünstig wirken und eine Mehrleistung der Antagonisten an diesem Gelenk nötig wird. So erklärt sich, daß wir die mächtigere Muskulatur des einen Gelenkes, z. B. der Hüfte, zur Arbeitsleistung am anderen Gelenk (Kniegelenk) zu Hilfe nehmen, trotz der mangelhaften Ökonomie einer solchen Wirkungsweise.

Die relative Faserlänge der ein- und mehrgelenkigen Muskeln.

Um aber die Erscheinungen der aktiven und passiven Insuffizienz zu verstehen, müssen wir den Umständen Rechnung tragen, durch welche die Länge der Fleischfasern der zwei- und eingelenkigen Muskeln bestimmt wird. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Länge der Fleischfasern der zweigelenkigen Muskeln geringer ist als die Summe der Faserlängen der darunter an beiden Gelenken befindlichen eingelenkigen Muskeln, vorausgesetzt, daß wir für letztere die beobachteten Werte der Faserlängen umrechnen auf die Zugrichtung des zweigelenkigen Muskels und auf die gleiche Schrägstellung der Fasern zur Zugrichtung, wie sie beim zweigelenkigen Muskel gegeben ist. Gewisse Beobachtungen haben mich schon vor Jahren zu dieser Annahme geführt (Zur Kenntnis der funktionellen Anpassung etc. 1883). Warum die Faserlänge der zweigelenkigen Muskeln im allgemeinen nicht der Summe der in den beiden Gelenken je für sich möglichen maximalen Exkursionen angepaßt sein kann, sondern einer geringeren Längenänderung, möchte ich im folgenden genauer erläutern:

zwei Hauptarten der Bewegungskombinationen in den Extremitätengelenken.

In Fig. 162 ist eine Kette von vier in einer Ebene liegenden Stäben estellt (R, O, U, F), welche in dieser Ebene in den Gelenken H, K und geneinander drehbar sind. Die Linien hb und hs, Kb und Σb und Σs repräsentieren eingelenkige Muskeln dieser Gelenke, Züge ab, cd und cf repräsentieren kreuzte zweigelenkige Muskeln, der ad einen gekreuzten zweigelen- n Muskel.

Die Konstruktion repräsentiert in chster Weise die Verhältnisse der ren Extremitäten und des als starr nommenen übrigen Körpers hin- lich der sagittalen Bewegungen und te. Der Stab R stellt den Stamm, en Oberschenkelknochen, V die a, F den Fuß dar, H das Hüftge- . K das Kniegelenk, Σ das obere nggelenk. In den Linien hb und kann man sich die eingelenkigen ger und Strecker der Hüfte, in Kb Ks diejenigen des Kniegelenkes, b und Σs diejenigen des Fußgelen- angeordnet denken, in der Linie len Rectus femoris, in cd die vom er ischii zum Unterschenkel gehen- Muskeln, in der Linie ef die Mus- , welche vom Oberschenkel zur e gehen.

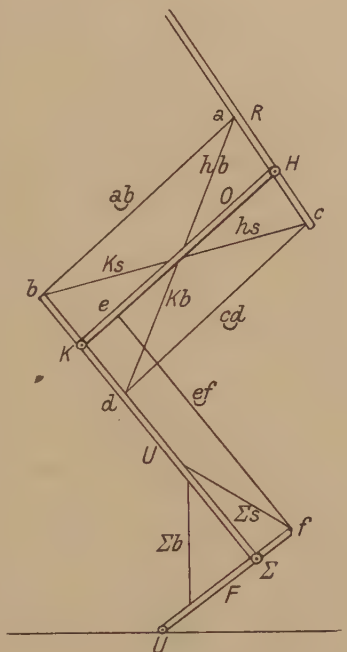


Fig. 162.

1. Wenn an sämtlichen Gelenken der Vorderseite eine Verkürzung Muskeln eintritt, so erfolgt alter- end in der Reihe der Gelenke en des zickzackförmigen Verlaufes des Skelettes Beugung und ckung; die Länge der Extremität verändert sich wenig; dafür be- men wir das Maximum der Ablenkung der Beinlinie im ganzen nach n, sowie die maximale Vorführung des Fußes und die maximale Rich- gsänderung desselben gegenüber dem Rumpf.

Bei Verkürzung der Muskeln an der Rückseite aller Gelenke resultiert annähernd gleichbleibender Beinlänge die maximale Rückführung ganzen Beines und besonders des Fußes und die maximale Richtungs- erung des Fußes zum Rumpf im umgekehrten Sinn.

Diese Art der Bewegung der Extremität soll als Vor- und Rück- deln, die betreffende Art der Kombination der Bewegung in den chiedenen Gelenken als isotrope Bewegung bezeichnet werden.

2. Kontrahieren sich aufeinanderfolgend an der Reihe der Gelenke

die Muskeln alternierend an der Beuge- und an der Streckseite, so ist die Vor- oder Rückführung der Extremität im ganzen (Linie HU) gering oder = 0, die Richtungsänderung der Endglieder gegeneinander ist relativ gering, dagegen die Längenänderung der Extremität besonders auffällig. Die Extremität wird verkürzt bei Verkürzung sämtlicher Beugeseitenmuskeln, und verlängert bei Verkürzung der Muskeln an sämtlichen Streckseiten (heterotrope Gelenkbewegung).

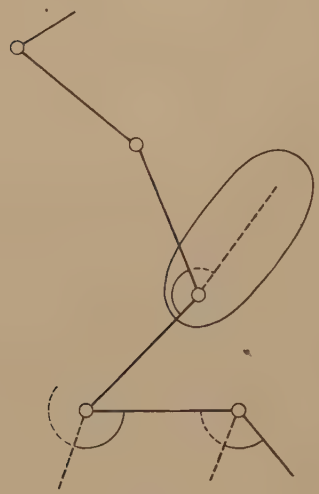


Fig. 163.

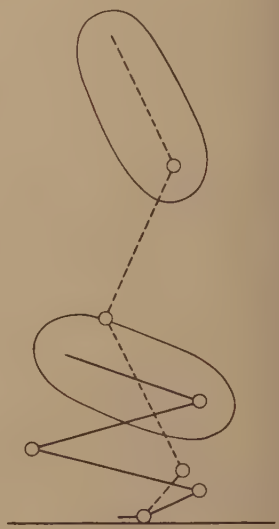


Fig. 164.

Es läßt sich eine Kombination finden, bei welcher v und h direkt einander genähert werden, ohne daß sich die Richtung von oh zu R wesentlich ändert, aber auch eine Kombination, bei welcher je zwei Glieder, welche durch ein Glied voneinander getrennt sind, einander parallel bleiben.

Im letzteren Fall ändern die nicht überkreuzenden zweigelenkigen Muskeln (a b, c d, e f) ihre Länge nicht (wenn sie dem benachbarten intermediären Skelettstück parallel laufen), während sie eine maximale Längenänderung erfahren beim isotropen Vor- und Zurückpendeln der Extremität. Allfällige überkreuzende zweigelenkige Muskeln erfahren ihre größte Längenänderung bei der kürzesten Annäherung des Fußes an den Leib (Hüftgelenk), bleiben dagegen annähernd gleich lang beim Vor- und Zurückpendeln. Die eingelenkigen Muskeln erfahren eine Längenänderung sowohl beim Vor- und Rückpendeln der Extremität als bei der direkten Verkürzung und Verlängerung der Extremität.

Es unterliegt nun aber wohl keinem Zweifel, daß beim Vor- und Rückpendeln eine so ausgiebige Bewegung in den Gelenken, wie sie bei Fehlen jeder äußeren Hemmung seitens der Muskeln möglich wäre

nfalls höchst selten stattfindet; eine so große Lage- und Richtungs-
rung des Endgliedes gegenüber dem Rumpf ist kaum bei irgend
Verrichtung des Körpers erforderlich oder von praktischem Wert.
gen ist es von Vorteil, wenn die Extremitäten in ihren Gelenken
ein gegliedertes Stativ vollständig zusammengelegt und anderer-
wieder völlig gestreckt werden können, unter voller Ausnützung
überhaupt in den Gelenken, beim Fehlen jeder Muskelhemmung
ichen Bewegung.

Wenn dem wirklich so ist, so ergibt sich daraus folgendes: Die
elenkigen, nicht überkreuzenden Muskeln — und um sie handelt
ch in erster Linie — verkürzen sich allemal dann an beiden über-
genen Gelenken, zugleich mit den unter ihnen gelegenen eingelenki-
Muskeln, wenn die Längenänderung der letzteren keine maximale ist,
ich beim Vor- und Rückpendeln der Extremität; allemal aber
die Längenänderung der eingelenkigen Muskeln an den Gelenken
Extremität eine maximal große ist, nämlich bei der einfachen Ver-
ung und Streckung der Extremität (Annäherung und Entfernung
Fußes gegenüber dem Hüftgelenk und umgekehrt), liegen die nicht
kreuzenden zweigelenkigen Muskeln jeweils nur an dem einen Ge-
an der Seite der sich verkürzenden eingelenkigen, am anderen
nk aber an der Seite der sich verlängernden eingelenkigen Muskeln.
totale Längenänderung ist also in diesem Fall gleich 0 oder jeden-
sehr gering im Vergleich zu der Längenänderung, welche die unter
liegenden eingelenkigen Muskeln dabei erfahren.

Die Faserlänge der eingelenkigen Muskeln wird den maximalen
genänderungen angepaßt sein müssen, welche diese Muskeln bei der
chen Verkürzung und Verlängerung der Extremität erfahren (das
he gilt für die Faserlänge der zweigelenkigen überkreuzenden Mus-
, wie z. B. für den M. sartorius). Die Faserlänge der nicht über-
zenden zweigelenkigen Muskeln dagegen muß der maximalen Längen-
rung angepaßt sein, welche diese Muskeln erfahren beim Vor- und
ckpendeln der Extremität und diese Längenänderung ist kleiner
die Summe der maximalen Längenänderungen, welche zwei in der
hen Zugrichtung und an den gleichen zwei Gelenken gelegene ein-
kige Muskeln bei der Verkürzung und Verlängerung der Extre-
t erfahren würden.

Was hier für die untere Extremität entwickelt worden ist, gilt in
icher Weise auch für die obere Extremität und gilt auch für die
emitäten der Tiere. Es folgt dann aber auch, daß bei seltenen und
wöhnlichen Bewegungskombinationen der ersten Art, also bei be-
ers weit getriebener gleichsinniger Bewegung in den aufeinander
nden Gelenken, welche durch die eingelenkigen Muskeln allein
zugelassen und befördert werden könnte, die zweigelenkigen Muskeln
ffizient sein müssen.

Ihre Länge ist für dieselben zu gering. Sie sind einerseits nicht dehn-
genug, um die Bewegung zuzulassen und auf der anderen Seite nicht
gend aktiv verkürzbar, um dieselbe noch aktiv und arbeitleistend
rdern. Und zwar entspricht der passiven Insuffizienz auf der einen

Seite immer genau die aktive Insuffizienz der antagonistischen zweigelenkigen Muskeln der gleichen zwei Gelenke. Diese Insuffizienz kann sich je nach Umständen und Bedürfnis mehr als ein Nachteil oder als ein Vorteil erweisen. Sie sichert gewissermaßen automatisch eine gewisse Parallelstellung der durch je ein Zwischenglied getrennten Glieder.

Wo aber das Bedürfnis für größere gleichsinnige Exkursion in den aufeinanderfolgenden Gelenken vorliegt, bei Turnern und noch mehr bei Akrobaten und Kautschukmännern, kann durch Übung die Insuffizienz in sehr weiten Grenzen beseitigt werden.

Es ist nun erst noch durch genauere daraufhin gerichtete Untersuchungen festzustellen, in welchen Fällen die zweigelenkigen Muskeln wirklich auch dann aktiv gespannt sind, wenn sie nur an dem einen Gelenk nützliche Arbeit leisten, am anderen Gelenk aber die stattfindende Bewegung hemmen. Daß dies nicht immer der Fall ist, scheint mir unzweifelhaft. Bei der Erhebung des Körpers aus der Kniebeuge scheint zwar der Rectus femoris in der Regel in Aktion zu sein, die am Sitzhöcker entspringenden Kniegelenkbeuger aber sind es in der Regel nicht, obschon sie die im Hüftgelenk stattfindende Streckung unterstützen könnten. Vielleicht ist das Entscheidende die ungleiche Größe der Kraftmomente, welche dem Muskel an den beiden Gelenken zukommen, und wird der Muskel zur Mitwirkung herangezogen, wenn er an demjenigen Gelenk positive Arbeit leisten kann, an welchem er das größere Kraftmoment besitzt. Im genannten Fall könnte aber außerdem von Bedeutung sein, daß für die Streckung der Hüfte überreichliche Kräfte zur Verfügung stehen, während dies für die Streckung des Kniegelenkes nicht der Fall ist. Dies führt dazu, daß die gleichzeitige Spannung der langen Beuger bei der Erhebung des Körpers aus der Kniebeuge sorgfältig vermieden wird, weil sie für die Streckung des Hüftgelenkes nicht nötig ist, die Streckung des Kniegelenkes aber in erheblichem Maße hindert. Die Mithilfe des Rectus femoris aber könnte allenfalls für die Unterstützung der Streckaktion im Knie in Anspruch genommen werden, da genügend Kräfte zur Streckung der Hüfte und auch noch zur Überwindung der Spannung im Rectus zur Verfügung stehen. Nicht gleichgültig kann es sein, ob wir den (nützlichen oder schädlichen) Einfluß der Mitwirkung eines zweigelenkigen Muskels beachten oder nicht merken. Wenn ersteres der Fall ist, so kann sehr wohl durch Übung ein möglichst sparsames Arbeiten ermöglicht werden; im zweiten Fall würde die Ausbildung des ökonomischen Verhaltens schwer zu verstehen sein.

γ) Die Arbeitsleistung an den verschiedenen Gelenken bei kombinierter Aktion.

Die von den Muskeln geleistete äußere Arbeit berechnet sich nach der Summe der in den einzelnen aufeinander folgenden Phasen der Aktion geleisteten Einzelarbeiten. Letztere sind das Produkt der während jeder Phase als konstant angenommenen Spannung und der Größe

Verkürzung, welche der Muskel in dieser Phase erleidet. Gemeint natürlich die Spannung in der Längsrichtung des Muskels und die genänderung in der Längsrichtung.

Handelt es sich darum, die an einem ganzen Glied oder am ganzen per gegenüber der Schwere oder anderen äußeren Kräften von m oder mehreren Muskeln an einem Gelenk oder an mehreren Ge- en geleistete äußere Arbeit (nützliche äußere Arbeit) zu be- men, so kommt in Betracht: das Produkt aus dem Weg, welchen die effende Masse gegenüber der äußeren Kraft in dieser Richtung zu- legt und der Größe dieser Kraft. Auch hier ist natürlich die Gesamt- it die Summe aufeinander folgender oder gleichzeitiger Einzelarbeiten.

Soweit eine solche Bewegung der Körpermassen gegenüber äußeren ften durch die Muskeln bewirkt ist, kann sie nur durch innere Be- ung in den Gelenken zustande gebracht sein. Es müssen für die enkbewegung und die nützliche äußere Arbeit alle Anteile der Muskel- it verloren gehen, welche zur Überwindung exaxialer innerer Gelenk- erstände mit Einschluß der Reibung und des Widerstandes ant- gonistischer Muskeln gegen ihre Drehung verwendet werden. Im übrigen die Bewegung der verschiedenen gegeneinander bewegten Partial- ssen gegenüber dem äußeren Raumsystem und den äußeren Kräften . Widerständen eine verschiedene. Sind eine oder zwei zueinander rrecht stehende Richtungen einer Ebene nützliche Richtungen der ssenbewegung, so müssen alle Arbeiten, welche in anderer Richtung eren Widerständen gegenüber geleistet werden, entweder als nutzlos er Betracht gelassen oder als direkt konträr in Abzug gebracht den. Bei der Aufwärtsbewegung des Körpers gegenüber der Schwere letzteres für die Abwärtsbewegung einzelner Körperteile, bei der bewegung des Körpers entgegen Widerständen der Luft etc. sind Rückbewegungen einzelner Massenpartien in Abzug zu bringen.

Die nützliche Arbeit am Körper gegenüber der Schwere, che durch die Arbeit der Hüftgelenkmuskeln zustande ge- cht wird, ist demnach die Summe der an den einzelnen Partialmassen tande gebrachten Hebungsarbeiten, wobei die tatsächliche Abwärts- vegung einzelner Partialmassen beim Gesamtbetrag in Abzug zu ngen ist. Die Erteilung lebendiger Kraft an aufwärts bewegte Teile als Nutzen, die Erteilung abwärts gerichteter lebendiger Kraft aber als Verlust der von den Muskeln gegenüber der Schwere geleisteten beit in Rechnung zu setzen. Für eine Bewegung, die im Ruhezustand einzelnen Partialmassen beginnt und endet, kommen bezüglich der zlichen gegenüber der Schwere geleisteten Arbeit nur die absoluten bhöhen der Massenmittelpunkte der einzelnen Partialmassen und die wichte dieser Partialmassen in Betracht. Bei allfälligen Massen- schiebungen nach unten sind die Produkte aus dem Gewicht und dem h unten zurückgelegten Weg mit negativem Vorzeichen in Rechnung setzen.

Wo entgegen aufwärts gerichteten Widerständen des Bodens keine nenswerte Verschiebung stattfindet, wie bei der Aufrichtung und fwärtsbewegung des Körpers auf festem Boden, muß die gesamte

der Schwere gegenüber „netto" geleistete Arbeit demjenigen Teil der Arbeitsleistung der Muskeln entsprechen, der nicht in der Überwindung innerer exaxialer Widerstände der Gelenkbewegung oder für eine Arbeitsleistung gegenüber anderen äußeren Kräften, z. B. horizontalen äußeren Widerständen verloren geht, sondern parallel vertikalen Ebenen zur Gelenkbewegung dient.

A. E. Fick hat die äußere Arbeit genauer zu bestimmen gesucht, welche bei der Aufrichtung des Körpers aus der Kniebeuge zur gestreckten Stellung geleistet wird. Seine Betrachtungsweise scheint mir aber nicht in allen Beziehungen völlig korrekt zu sein. Die Beantwortung der Frage ist auch nicht ganz so einfach, wie A. E. Fick sich vorgestellt hat.

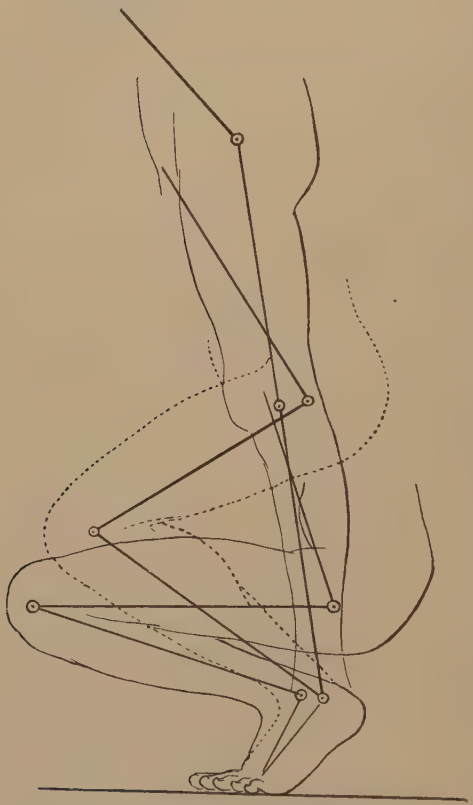


Fig. 165. Erhebung in den Zehenstand, nach A. E. Fick.

Nach ihm wäre die von den Hüftgelenkstreckern geleistete äußere Arbeit gleich dem Produkt aus dem Gewicht der über den Hüftgelenken gelegenen Körpermasse und ihrer vertikalen Hebung gegenüber dem Hüftgelenk, desgleichen die von den Kniegelenkstreckern geleistete Arbeit gleich dem Gewicht des über den Kniegelenken gelegenen Körperabschnittes mal der Hubhöhe der Hüftgelenke gegenüber dem Kniegelenk; die von den Fußstreckern geleistete äußere Arbeit endlich ist nach A. E. Ficks Standpunkt gleich dem Gewicht der über den Fußgelenken gelegenen Körpermasse mal der Hubhöhe des Kniegelenkes gegenüber dem Boden. Die Summe dieser Arbeiten stellt nach A. E. Fick die gesamte äußere der Schwere gegenüber geleistete Arbeit dar.

Demgegenüber ist folgendes einzuwenden:

1. Für die Hebung des Körpers, welche durch Hebung der Fersen zustande kommt, müßte konsequenterweise, nach der Fickschen Anschauung, angenommen werden, daß die betreffende Arbeit in den Metatarsophalangealgelenken resp. in dem Gelenk zwischen Boden und Fuß geleistet wird!

2. Die bezüglich der Hüftgelenkstrecker gemachte Annahme würde nur dann zutreffen, wenn der Oberschenkel festgestellt wäre, die Annahme betreffend die Kniegelenkstrecker nur für den Fall der Feststellung der Unterschenkel.

In Wirklichkeit bewegt sich aber bei der Aktion der Hüftstrecker, wenn das Knie am Unterschenkel einen Widerstand findet, das Hüftgelenk gegenüber dem Kniegelenk nach vorn und oben, auch wenn am Knie gar keine Muskelwirkung stattfindet. Die Aufrichtung des Oberschenkels und die Hebung der Hüftgelenke gegenüber den Kniegelenken ist also durchaus nicht einzig Arbeitsleistung der Kniegelenkstrecker, sondern geschieht unter Mitwirkung der Hüftmuskeln. Ähnlich verhält es sich mit der Aufrichtung des Unterschenkels und mit der Hebung des Kniegelenkes gegenüber dem Fußgelenk. Beides wird nicht einzig durch die Fußgelenkmuskeln zustande gebracht; es wirken dazu auch die Kniegelenkstrecker mit. Endlich geschieht die Hebung und Aufrichtung des Fußes nicht durch Muskeln zwischen Fuß und Boden, sondern im wesentlichen durch die Tätigkeit der Fußgelenkstrecker. Zugleich ist klar, daß die Aktion der Muskeln am Fußgelenk und am Kniegelenk nicht in gleicher Weise zur Hebung aller Partialschwerpunkte der über den betreffenden Gelenken gelegenen Partialmassen beiträgt, sondern unter Bevorzugung des zunächst gelegenen Gliedes.

An jedem Glied wirkt die Schwere erstens entsprechend dem Eigengewicht des Gliedes in seinem Schwerpunkt, zweitens als Druck von oben gegen das obere Gelenk entsprechend dem Gewicht der darüber gelegenen Teile. Es ist vorderhand ganz unmöglich, einen einfachen Ausdruck dafür zu finden, nach welcher Proportion die Muskeln der verschiedenen Gelenke beteiligt sind, um die tatsächliche Bewegung des Gliedes entgegen diesen Einwirkungen der Schwere zustande zu bringen. Die Frage könnte nur durch eine sehr schwierige und komplizierte Analyse gelöst werden und es müßte dazu neben den Massenverhältnissen nicht bloß die Form der Bewegung, es müßten auch die in den einzelnen Phasen vorhandenen Kraftmomente der einzelnen Streckmuskelgruppen genau bekannt sein.

Ein gewisser Gewinn liegt immerhin in der Einsicht, daß die Aktion der Streckmuskeln des Hüftgelenkes, ganz abgesehen von dem Rectus femoris, zur Aufrichtung des Oberschenkels und Erhebung des Hüftgelenkes über dem Knie, die Aktion der Kniegelenkstrecker zur Aufrichtung des Unterschenkels, die Aktion am Fußgelenk zur Aufrichtung des Fußes beitragen kann. Daß die Aktion der Hüftgelenkmuskeln zur Vor- und Aufwärtsbewegung des ganzen Oberstückes und vorab der Hüfte gegenüber dem Kniegelenk mithelfen muß, läßt sich an einem sog. künstlichen Frosch demonstrieren, einer Holzgabel, die mit losbrechendem Schlaghebel gegen die Unterlage schlägt und sich dabei in die Höhe wirft. Die Verkürzung der Hüftgelenkmuskeln erzeugt bei etwas gebeugtem Hüftgelenk und annähernd vertikaler Beinlinie einen nach vorn und mehr und mehr nach oben gerichteten lokomotorischen Widerstand, der eine Kraft zur Beschleunigung der Gesamtmasse und zur Arbeitsleistung an derselben gegenüber der Schwere darstellt, wäh-

rend durch die Muskelaktion an sich, beim Fehlen äußerer Widerstände eine Wirkung auf die Gesamtmasse nicht erfolgen würde.

Die Aktion der Muskeln des gebeugten Kniegelenkes für sich allein bei aufgesetztem Fuß erzeugt einen nicht rein nach oben, sondern einen nach oben und hinten gerichteten Widerstand am Boden selbst dann noch, wenn das Hüftgelenk senkrecht über der Unterstützungsfläche steht. Erst wenn das Hüftgelenk deutlich nach vorn über letzterer liegt, ist der Widerstand direkt nach oben oder nach oben vorn gerichtet. Eine entsprechende Richtung hat der lokomotorische Impuls, welcher durch die Streckkraft des Knies der Gesamtmasse des Körpers erteilt wird (s. o. S. 266).

δ) Weitere kombinierte Aktionen.

Die kombinierten Bewegungen und Aktionen des menschlichen Körpers können in diesem Lehrbuch nicht systematisch und eingehend behandelt werden. Wir müssen uns darauf beschränken, nach Möglichkeit zum Verständnis der Grundlagen, auf welchen sich die spezielle Bewegungslehre aufbaut, beizutragen und die hierfür in Betracht kommenden Verhältnisse des Zusammenwirkens verschiedener Gelenkaktionen im allgemeinen zu besprechen, soweit solches, gestützt auf Beobachtungen und einfachere mechanische Prinzipien, geschehen kann. Wenn wir dabei spezielle Bewegungskombinationen in Betracht ziehen, so geschieht solches doch nur des Beispiels wegen und indem wir uns bewußt sind, daß wir aus einem außerordentlich weitläufigen Gebiet nur einzelnes herausgreifen. Am Schluß des folgenden und letzten Abschnittes dieses Lehrbuches, nachdem wir uns über die einzelnen Gelenke und Gelenkaktionen der oberen Extremität unterrichtet haben, werden wir noch einmal auf die allgemeinen Prinzipien, welche bei der gemeinsamen Aktion verschiedener Körpergelenke von Wichtigkeit sind, zurückkommen und dabei auch Fälle berücksichtigen, bei welchen die untere Extremität in hervorragender Weise an der gesamten Bewegungskombination beteiligt ist (Sprung u. a. m.). Um eine vollständige Analyse der betreffenden Bewegungen wird es sich auch dort nicht handeln können. Eine solche müßte sich vor allem auf genaue experimentelle Untersuchungen über die Geometrie der Bewegung und über die an den Muskeln zu beobachtenden Spannungsverhältnisse stützen und erfordert komplizierte Ausrechnungen, die nur mit höheren mathematischen Kenntnissen durchzuführen und zu verstehen sind. Solches gilt ganz besonders auch für die Analyse der Gang- und Laufbewegung, sie liegt außerhalb des Rahmens unserer Darstellung. Bezüglich der Zusammenfassung von allem dem, was durch Beobachtung und Experiment über die genannten Aktionen bereits ermittelt ist, muß vorderhand auf die Lehrbücher der Physiologie und auf die Originalarbeiten verwiesen werden.

Literaturverzeichnis zur unteren Extremität.

Das nachfolgende Verzeichnis enthält vor allem die im Text zitierten Schriften unter Hinzufügung einiger weiterer Hinweise. Die Gruppierung geschah nach sachlichen Gesichtspunkten, entsprechend der Gliederung des Stoffes im Text. Dies bedingt einige Wiederholungen. Bei den einzelnen Fragen sind die Schriften möglichst nach der Reihenfolge ihres Erscheinens aufgeführt. Mit Bezug auf Atlanten und Lehrbücher der Anatomie, zusammenfassende Schriften über Muskel- und Gelenkmechanik usw. verweisen wir auf die Literaturverzeichnisse zum I. und II. Bd. d. Lehrb. Ferner sind zu berücksichtigen Frohse und Fränkel, Die Muskeln des menschlichen Beines. 22. Lief. d. Handb. d. Anat. von Bardeleben. (Sammelwerk.) Jena 1908 und Krause, W., Das Skelett der oberen und unteren Extremität. 16. Lief. d. Handb. d. Anat. d. Menschen von Bardeleben. (I_3.) 1909.

I. Hüfte und Oberschenkel.

Faszie des Oberschenkels.

Bluntschli, H., Die Fascia lata und ihre Bedeutung für die Umbildung des Gefäßapparates an der unteren Gliedmaße in der Primatenreihe. Verh. anat. Gesellsch. Greifswald. 1913.

Roux, W., Der Kampf der Teile im Organismus. Leipzig 1881. S. 189.

Stellungen und Bewegungen des Femur im Hüftgelenk.

Fick, A., Die medizinische Physik. 3. Aufl. 1885. S. 77 u. 78.

Straßer, H., Zur prinzipiellen Einigung in Sachen der Gelenkmechanik. Deutsche Zeitschr. f. Chir. 1880.

— Zur Kenntnis der funktionellen Anpassung. Stuttgart 1883.

— Neue Methoden und Hilfsmittel zur Bestimmung und Veranschaulichung der Stellungen und Bewegungen im Hüft- und Schultergelenke. Korrespondenzbl. f. Schweiz. Ärzte 1893.

Straßer, H. und Gaßmann, A., Hilfsmittel und Normen zur Bestimmung und Veranschaulichung der Stellungen, Bewegungen und Kraftwirkungen am Kugelgelenk. Anatom. Hefte VI/VII. 1893.

Albert, E., Der Exkursionskegel des Femur bei Luxationen des Hüftgelenkes. Ber. d. naturw. Ver. Innsbruck 1876.

— Zur Mechanik des Hüftgelenkes. Wien. med. Jahrb. 1876.

Fick, R., Handbuch der Anatomie. II. Teil. S. 180. III. Teil. S. 470.

Roschdestwenski, J. und Fick, R., Über die Bewegungen im Hüftgelenk und die Arbeitsleistung der Hüftmuskeln. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1913.

Henke, J. W., Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. 1863.

Meyer, G. H., Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. 1873.

Absolute Muskelkraft.

Weber, Ed., Art. „Muskelbewegung“ in Wagners Handwörterb. d. Physik. Bd. 3.

Henke, W., Die Größe der absoluten Muskelkraft, aus Versuchen neu berechnet. (Dissert. von F. Knorz, Tübingen.) Zeitschr. f. rat. Med. 1865.

Koster, La détérmination du maximum de force des muscles vivants. Arch. néerl. des sc. exp. et nat. VII. 1868.
Feuerstein, F., Zur Lehre von der absoluten Muskelkraft. Diss. Tübingen 1889.
Fick, R., Über die Arbeitsleistung der auf die Fußgelenke wirkenden Muskeln. Kölliker-Festschr. Würzburg 1892.
Hermann, L., Zur Messung der Muskelkraft am Menschen. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 73. 1896.
Reys, J. H. O., Über die absolute Kraft der Muskeln im menschlichen Körper. Pflügers Arch. CLX.
Fischer, O., Theoretische Grundlagen. 1906.
Johnson, J. V., siehe du Bois-Reymond, Ergebn. d. Physiol. Bd. 2. 1903.
Fick, R., Handbuch II. S. 296.
Weitere Literaturangaben siehe unten bei „Zehenstand".

Bestimmung der Querschnittsgröße der Muskeln.

Fick, A., Statische Betrachtung der Muskulatur des Oberschenkels. Zeitschr. f. rat. Med. 1849. (Ges. Schriften I. 1903.)
Weber, Ed., Über die Gewichtsverhältnisse der Muskeln des menschlichen Körpers im allgemeinen. Ber. üb. d. Verh. d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1850.
— Über die Längenverhältnisse der Fleischfasern der Muskeln im allgemeinen. Ebenda. 1851.
Buchner, H., Zur Frage über den Zusammenhalt des Hüftgelenkes. His' Arch. 1877, 1878.
Fick, R., 1892, s. o.
Roschdestwenski und Fick, 1913, s. o.
Fick, A. E. und Weber, Ed., Anatomisch-mechanische Studie über die Schultermuskeln. Verhandl. phys.-med. Gesellsch. Würzburg N. F. XI. Bd. 1877.
Grohmann, F. W., Über die Arbeitsleistung der am Ellbogengelenk wirkenden Muskeln. Arch. f. Anat. u. Phys. Anat. Abt. 1902.

Bestimmung und Veranschaulichung der Drehungsmomente.

Fick, A., Statische Betrachtung der Muskulatur des Oberschenkels. Zeitschr. f. rat. Med. 9. 1849. Ges. Schriften I. 1903.
Fick, A. E. und Weber, Ed., s. o.
Fick, A. E., Über zweigelenkige Muskeln. His' Arch. 1876.
Straßer, H., Zur Mechanik des Fluges. His' Arch. 1878.
Straßer und Gaßmann, 1893, s. o.
Roschdestwenski und Fick, 1913, s. o.

Spezielle Wirkungsweise der einzelnen Hüftmuskeln.

Haughton, On the muscular mechanism of the hip joint in man. Med. Times and Gazette. 1864. 11. VI.
Roith, Die Bedeutung der Adductoren für das Hüftgelenk mit Berücksichtigung der übrigen auf das Gelenk wirkenden Muskeln. Arch. f. Orthop., Mechanother. u. Unfallchir. VI. 1908.
Duchenne, Physiologie des mouvements. Paris 1867. Deutsch von C. Wernicke, 1885.
Straßer, H., Über die Grundbedingungen der aktiven Lokomotion. Halle 1880.
Braune und Fischer, Der Gang des Menschen. V. Teil. Die Kinematik des Beinschwingens und VII. Teil, Über den Einfluß der Schwere und der Muskeln auf die Schwingungsbewegung des Beins. Abh. math.-phys. Kl. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. V. 1903. u. 1904.
Chaine, J., Station bipède et muscles fessiers. C. R. Ac. sc. T. 150.
Manouvrier, L., Les fonctions du muscle du Fascia lata. Compt. rend. Soc. biol. T. 56. Nr. 11.

Anatomie des Hüftgelenkes. Gelenkkörper.

Aeby, Chr., Die Sphäroidgelenke der Extremitätengürtel. Zeitschr. f. rat. Med. III. Reihe. Bd. XVII. 1863.

Schmid, Fr., Über Form und Mechanik des Hüftgelenkes. Inaug.-Diss. Bern. Deutsche Zeitschr. f. Chir. 1874.
Aeby, Chr., Die Gestalt des Femurkopfes. Wien. med. Jahrb. 1877.
H. Meyer, H., Die Bestimmungsmethoden der Gelenkkurven. Arch. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1890.
Helwig, R., Über die Form des Hüftgelenkes des Menschen. Aus dem anat. Kabinett des med. Inst. f. Frauen. Kiew 1912. (Russisch.)
Werner, H., Die Dicke der menschlichen Gelenkknorpel. Inaug.-Diss. Berlin 1877.
Bertin, Traite d'ostéologie. Paris 1754.
Welcker, H., His' Arch. 1876.
Über das Lig. teres s.
Tyrtl, Zeitschr. der k. k. Gesellsch. der Ärzte zu Wien. 1846. Bd. I und Topograph. Anat. 1853. Bd. II.
Humphrey, Treatise of the human skeleton including the joints. 1858.
Struthers, J., Demonstration of the use of the round Ligament of the Hip joint. Edinb. Med. Journ. Vol. 4. 1858.
Savory, W. S., On the use of the Lig. teres of the Hip joint. Journ. Anat. Phys. 1874.
Welcker, H., Zeitschr. f. Anat. u. Entwickl. von His u. Braune. Bd. 1. 1876. S. 41.
Hoser, E., Über das Lig. teres des Hüftgelenkes. Anat. Anz. 1892.
Bonifaz, Considérations sur l'anatomie, la signification et la physiologie du ligament rond. Thèse de Montpellier. 1909.
Pick, R., Handbuch III. S. 330—336. (Über das Lig. teres.)

Luxationen des Hüftgelenkes.

Albert, E., Der Exkursionskegel des Femur bei Luxationen des Hüftgelenkes. Ber. d. naturwiss. Ver. Innsbruck. 1877.
Kocher, Th., Die Analogien von Schulter- und Hüftgelenkluxationen und ihrer Repositionsmethoden. Volkmanns Samml. klin. Vortr. Nr. 83.
Fehling, H., Die Form des Beckens beim Fetus und Neugeborenen und ihre Beziehung zu der beim Erwachsenen. Arch. f. Gynäk. Bd. 10. 1876.
Veit, Die Entstehung der Form des Beckens. Zeitschr. f. Geburtsh. u. Gynäk. Bd. 9. 1889.
Petersen, H., Untersuchungen zur Entwicklung des menschlichen Beckens. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1893.
Romiti, G., Sui caratteri sessuali nel bacino del neonato. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali. Vol. 8. 1892.
Konikow, M., Zur Lehre von der Entwicklung des Beckens und seiner geschlechtlichen Differenzierung. Arch. f. Gynäk. Bd. 45. 1894.
Thomson, A., The sexual differences of the foetal pelvis. Journ. of Anat. and Physiol. Vol. 33. 1899.
Merkel, Fr., Beckenwachstum. Anat. Hefte. Bd. I. 1902.
Friedländer, Fr., Zeitschr. f. orth. Chir. Bd. 9.
Hirsch, H. H., Virch. Arch. 48. u. a. a. O.
Lücke, Über sogenannte kongenitale Hüftgelenksluxation. Versamml. d. Naturf. u. Ärzte Straßburg 1885.
Bender, O., Zur Ätiologie der kongenitalen Hüftgelenksluxation. Zentralbl. f. Chir. 1902.
Le Damany, Influence de la tête fémorale sur le creusement et la conservation de la cavité cotyloide. Bull. Soc. scient. et méd. de l'ouest. 1903.
Lorenz, Ad. und Reiner, Die angeborene Hüftverrenkung. Handb. d. orthop. Chir. von Joachimsthal. II. Bd. Spez. Teil. 2. Hälfte mit ausführlichem Literaturverzeichnis. 1905—1907.
Braus, H., Ein experimentell-embryologischer Beitrag zur Entstehungsgeschichte der angeborenen Luxation. Münchn. med. Wochenschr. Nr. 33. 1910.

Wirkung des Luftdruckes am Hüftgelenk.

Weber, W. und Weber, E., Über die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge nebst der Beschreibung eines Versuches über das Herausfallen des Schenkelkopfes aus der Pfanne im luftverdünnten Raum. Ann. Phys. u. Chem. Bd. 40. 1837.
Rose, E., Die Mechanik des Hüftgelenkes. Reicherts und du Bois-Reymonds Arch. 1865.
Schmid, Fr., Über Form und Mechanik des Hüftgelenkes. Inaug.-Diss. Bern. Deutsche Zeitschr. f. Chir. V. 1875.
Aeby, Chr., Gelenke und Luftdruck. Zentrbl. med. Wiss. 1875.
— Der Luftdruck im menschlichen Hüftgelenke. His' Arch. 1880.
— Beiträge zur Kenntnis der Gelenke. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. VI. 1876.
Buchner, Hans, Kritische und experimentelle Studien über den Zusammenhalt des Hüftgelenkes im Leben in allen normalen Fällen. His' Arch. 1877.
Fick, A. E., Zur Frage der Hüftgelenksfixation. His' Arch. 1877.
van Braam Houkgeest, Über den Einfluß des Luftdruckes auf den Zusammenhalt der Gelenke. His' Arch. 1877.
Buchner, H., Zur Frage über den Zusammenhalt des Hüftgelenkes. His' Arch. 1878.
Fick, A. E., Zur Mechanik des Hüftgelenkes. His' Arch. 1878.
Gerken, N. A., Das Hüftgelenk und der Luftdruck. Anat. Anz. 1895.
— Über die Unabhängigkeit des Zusammenhaltens der Gelenke von dem atmosph. Drucke. Anat. Hefte 21. 1897.
Leßhaft, P., Die Bedeutung des Luftdruckes für das Gelenk. Anat. Anz. Bd. 13. 1897.
Fick, R., Handbuch II. S. 41—62.
Christen, Th., Der Streit um den Gelenkdruck. Anat. Hefte 130. 1911.
Fick, R., Zum Streit um den Gelenkdruck. Ebenda.
Christen, Th., Richtigstellung zum Streit um den Gelenkdruck. Ebenda.
Fick, E., Schlußwort zum Streit um den Gelenkdruck. Ebenda.

II. Fuß und Unterschenkel.

Allgemeines. Fußskelett. Entwicklung desselben.

Fick, L., Hand und Fuß. Müllers Arch. 1853.
Lucae, J. Ch., Die Hand und der Fuß. Abh. Senckenberg. Naturf.-Gesellsch. Bd. 5. 1864.
Lazarus, Zur Morphologie des Fußskeletts. Morphol. Jahrb. Bd. 24. 1896.
Pfitzner, W., Beiträge zur Kenntnis des menschlichen Extremitätenskeletts. Jena 1891. — (1892, Heft 4, Die Sesambeine des menschlichen Körpers. — 1895, Heft 5, Ein Fall von beiderseitiger Doppelbildung der fünften Zehe, nebst Bemerkungen über die angebliche Rückbildungserscheinung an der kleinen Zehe des Menschen. — 1896, Heft 6, Die Variationen im Aufbau des Fußskelettes.)
Stieda, A., Zur Kenntnis der Sesambeine der Finger und Zehen. Beitr. z. klin. Chir. Bd. 42.
Henke, W. und Reiher, C., Studien über die Entwicklung der Extremitäten des Menschen, insbesondere der Gelenkflächen. Sitzungsber., Akad. d. Wiss. 52. Bd. Wien 1874.
v. Bardeleben, Zur Entwicklung der Fußwurzel. Sitzungsber. d. Jenaischen Gesellsch. f. Med. u. Naturwiss. Suppl.-Bd. 1885.
— Hand und Fuß. Verh. d. anat. Gesellsch. auf der VIII. Vers. Straßburg 1894.
— Das Intermedium tarsi beim Menschen. Sitzungsber. d. Jen. Gesellsch. f. Med. u. Naturwiss. 1883.
Bade, P., Die Entwicklung der menschlichen Fußknochen nach Röntgogrammen. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen. Bd. 3.
— Die Entwicklung des menschlichen Skelettes bis zur Geburt. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 55. 1899.
— Entwicklung des menschlichen Fußskelettes von der 9. Embryonalwoche bis zum 18. Jahre nach Röntgenbildern. Verh. d. Gesellsch. d. Naturf. u. Ärzte. 1899—1900.

olkov, Variations squeletiques du pied. Soc. d'anthrop. Paris. Série V. T. IV. 1904.
agen, W., Die Bildung des Knorpelskelettes beim menschlichen Embryo. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1900.
chomburg, H., Untersuchungen der Entwicklung der Muskeln und Knochen des menschlichen Fußes. Dissert. Göttingen 1900.
mbertz, Die Entwicklung des menschlichen Knochengerüstes während des fetalen Lebens dargestellt an Röntgenbildern. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen. 1900.
ückert, Ossifikation des menschlichen Fußskelettes. Sitzungsber. K. B. Ak. math.-naturwiss. Kl. München 1901.
ck, C., Entwicklungsgeschichte der Knochen der unteren Extremitäten. 58 Röntgenbilder 1902. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen. Ergänz.-Bd. 9. 1902.
ilms und Sick, Die Entwicklung der Knochen der Extremitäten von der Geburt bis zum vollendeten Wachstum. Fortschr. auf dem Geb. d. Röntgenstrahl. Ergänz.-Heft 9. 1902.
thony, R., L'Evolution du pied humain. Bulletin et mém. Soc. d'anthrop. Sér. 5. T. 3. Paris 1903 etc. (s. Mall und Keibel).
aßelwarder, Ossifikation des menschlichen Fußskeletts. Zeitschr. f. Morph. u. Anthrop. 5. 1903.
- Über die Ossifikation des Fußskeletts. Anat. Anz. Bd. 32. 1908.
boucq, H., Le développement du I. Métatarsien et des os de l'articulation tarsienne chez l'homme. Arch. de biol. T. I. 1882.

Fußgelenke und Mechanik.

nger, C., Über das Sprunggelenk der Säugetiere und des Menschen. Wiss. Sitzbr. d. Ak. 1856.
everidge, On the lateral movement of the foot. Edinb. med. Journ. 1856.
enke, W., Die Kontroversen über die Fußgelenke. Zeitschr. f. rat. Med. Bd. 2. 1857.
Die Bewegung des Fußes am Sprungbein. Ebenda. Bd. 7. 1859.
- Handbuch der Mechanik und Anatomie der Gelenke. 1863.
. Meyer, H., Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 1861.
- Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. 1873.
- Studien über den Mechanismus des Fußes in normalen und abnormen Verhältnissen. Jena (I. Heft, Plattfuß, 1883; II. Heft, Statik und Mechanik des menschlichen Fußes, 1886; III. Heft, Klumpfuß, 1888).
eby, Chr., Das Talo-tarsalgelenk des Menschen und der Primaten.
lbert, E., Zur Mechanik der menschlichen Sprunggelenke. Naturwiss. med. Zeitschr. Innsbruck 1879.
- Zur Mechanik des unteren Sprunggelenkes. Med. Jahrb. 1882.
irchow, H., Über die graphische und plastische Aufnahme des Fußes. Verh. Berl. anthrop. Gesellsch. 1886.
- Die Aufstellung des Fußskelettes. Anat. Anz. 1892.
- Über die Gelenke der Fußwurzel. Arch. Anat. u. Phys. Phys. Abt. 1899.
übscher, Perimetrie. Weitere Mitteilungen über die Perimetrie der Gelenke. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 59. 1901.
önitz, A., Die Mechanik der Fußwurzel. Dissert. Berlin 1903.

Der Fuß beim Zehenstand und beim Gehen.

ick, L., Zur Mechanik des Stehens und Gehens. Müllers Arch. 1853.
ick, R., Über die Arbeitsleistung der auf die Fußgelenke wirkenden Muskeln. Kölliker-Festschrift. Würzburg 1892.
- Über die Arbeit der Fußgelenkmuskeln. Verh. anat. Gesellsch. Wien 1892.
irchner, A., Wie wird beim Gehen die Fußsohle aufgesetzt. Engelm. Arch. 1906.
eely, Die Mechanik des Stehens und Gehens. Arch. f. klin. Chir. Bd. 27.

Fischer, O., Der Gang des Menschen. 4. Über die Bewegung des Fußes und die auf denselben einwirkenden Kräfte. Leipzig 1901.
Weber, Ed., Henke und Knorz 1865, Koster 1866, R. Fick 1892, J. H. O. Reys s. o. bei „absolute Muskelkraft". Angaben über die ältere Literatur bei R. Fick 1892.
Bidard, G., Mécanisme du soulèvement. Compt. rend. Soc. biol. 1892. Paris.
Fischer, O., Die Hebelwirkung des Fußes, wenn man sich auf die Zehen erhebt. Arch. Anat. u. Phys. Anat. Abt. 1895.
du Bois-Reymond, R., Die Hebelwirkung des Fußes, wenn man sich auf die Zehen erhebt. Arch. Anat. u. Physiol. Phys. Abt. 1895.
Imbert, A., Mécanisme de l'équilibre et du soulèvement du corps sur la pointe des pieds. Journ. Phys. et Path. gén. 1900.
Ewald, Die Hebelwirkung des Fußes, wenn man sich auf die Zehen erhebt. Pflügers Arch. Bd. 59. 1894. Wien. klin. Wochenschr. 1895. Pflügers Arch. Bd. 64. 1896.
Hermann, L., Die Ablösung des Fußes vom Boden. Pflügers Arch. Bd. 62. 1896.
— Zur Frage der Fersenablösung. Pflügers Arch. Bd. 81. 1900.
Grützner, P., Über den Mechanismus des Zehenstandes. Pflügers Arch. Bd. 73. 1898.
Cartex, E., Mécanisme du soulèvement du corps sur la pointe des pieds. Historique et théorie. Journ. Phys. et Path. gén. 1901.
Fick, A., Bemerkungen zur Mechanik der Erhebung auf die Zehen. Pflügers Arch. Bd. 75. 1899 und Ges. Schriften. I. Würzburg 1903.

Das normale Fußgewölbe. Der platte Fuß. Untersuchung der Fußform.

v. Meyer, H., 1886, s. o.
Lorenz, Die Lehre vom erworbenen Plattfuß. Stuttgart 1883.
Riedinger, J., Die Mechanik des Fußgewölbes als Grundlage der Lehre von den Fußdeformitäten. Zentralbl. f. Chir. 1897. Nr. 15.
Rasumowsky, W., Beitrag zur Architektonik des Fußskelettes. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. 1889.
Marcinowsky, Joh. Jac., Zur Therapie des erworbenen Plattfußes etc. Inaug.-Diss. Breslau 1894.
Momburg, Die Stützpunkte des Fußes beim Gehen und Stehen. Deutsche med. Wochenschr. 1909.
Steudel, Mechanik des Fußgewölbes. Zentralbl. f. Chir. 47.
Engels, W., Über den normalen Fuß und den Plattfuß. Untersuchungen über Bau und Funktion des normalen Fußes. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 12. 1904.
Beely, Über die Bedeutung des Fußgewölbes beim Stehen. Arch. f. klin. Chir. Bd. 27.
Lazarus, 1896, s. o.
Seitz, Die vorderen Stützpunkte des Fußes unter normalen und pathologischen Verhältnissen. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 8. 1901.
Joachimsthal, G. H., Die normale Gestalt des Fußes. In s. Handb. d. orthop. Chir. II. Bd. 2. Hälfte. 1905—1907. S. 581 u. ff.
Freiberg, Zur Herstellung von Fußabdrücken. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 9. 1901.
Timmer, H., Eine neue Methode, Fußabdrücke zu machen. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 9. 1901.
Muscat, Eine neue Methode, Fußsohlenabdrücke zu gewinnen. Deutsche med. Wochenschr. 1902.
Bettmann, Zur Technik der Fußsohlenabdrücke. Zentralbl. f. Chir. 1902.
Joachimsthal, G., Funktionelle Formveränderungen an den Muskeln. Arch. f. klin. Chir. Bd. 54.
Herz, M., Der Bau des Negerfußes. Verh. deutsch. Gesellsch. f. orthop. Chir. 1. Kongr. Bd. 2 u. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 11. 1903.
Spitzy, H., Über Bau und Entwicklung des kindlichen Fußes. Jahrb. f. Kinderheilk. Bd. 57. 1903.

ovett, The mechanics and Treatment of the broken-down foot. New York med. Journ. 1896. Ref. Zeitschr. f. orthop. Chir. V. 1898.
ovett and Cotton, Transactions of the American. Orthop. Assoc. 1898.
ieny, K., Über den Knickfuß und seine Messung. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 10. 1902.
übscher, C., Über den Pes valgus. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 13. 1904.
ieiß, H. O., Die Messung des Fußes in verschiedenen Formen und Deformitäten. Übers. von Ewald. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 14.
Hovorka, O., Der Plattfuß. Sammelreferat in Arch. f. Orthop. etc. Bd. 4. 1906, mit ausführlichem Literaturverzeichnis.
oser, R., Über die Valgusstellung des Fußes. In.-Diss. Bern. Arch. f. Orthop. etc. Bd. 12. 1913.
humann. Zur Methodik der Plattfußdiagnose. Münchn. med. Wochenschr. 1906.

Entwicklungsmechanik des Plattfußes und Knickfußes.

ranke, Zur Ätiologie und Therapie des angeborenen Plattfußes. Arch. f. klin. Chir. Bd. 64.
oll Zur Ätiologie des angeborenen Plattfußes. Arch. f. klin. Chir. Bd. 25. 1880.
oachimsthal, Über Pes valgus congenitus. Deutsche med. Wochenschr. 1903. Nr. 15. Verhandl. d. freien Verein. d. Chir. Berlins. 12. Jan. 1903.
Handbuch der orthop. Chir.
üter, C., Klinik der Gelenkkrankheiten mit Einschluß der Orthopädie. 2. umg. Aufl. 1876—1878.
üstner, O., Über die Häufigkeit des angeborenen Plattfußes mit Bemerkungen über die Gestalt des Fußes beim Neugeborenen überhaupt. Arch. f. klin. Chir. Bd. 25. 1880.
Meyer, H., Unter den oben zitierten Schriften dieses Autors s. namentlich: „Ursache und Mechanismus der Entstehung des erworbenen Plattfußes nebst Hinweisung auf die Indikationen zur Behandlung desselben". Jena 1883.
iedinger, J., Die klinische Ätiologie des Plattfußes. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 11. 1903.
pitzy, H., Über den Pes planus. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 12. 1904.
übscher, Über den Pes valgus. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 13. 1904.
etersen, J., Zum Mechanismus des Plattfußes. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 67; Arch. f. klin. Chir. Bd. 69.
ieny, K., Über den Knickfuß und seine Messung. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 10. 1902.
assermann, R., Pes valgus spontaneus et traumaticus. Inaug.-Diss. Bern 1910.

Verhalten der Muskeln beim Plattfuß.

uchenne, Physiologie des mouvements.
lenke, Die Kontrakturen der Fußwurzel. Zeitschr. f. rat. Med. 1859.
u Bois-Reymond, R., Über antagonistische Koordination der Waden- und Sohlenmuskulatur. Berl. Verh. Phys. Gesellsch. 1900.
icoladoni, C., Über die Bedeutung des M. tibialis posticus und der Sohlenmuskeln für den Plattfuß. Zeitschr. f. Chir. Bd. 67.
oachimsthal, G., Funktionelle Formveränderungen an den Muskeln. Arch. f. klin. Chir. Bd. 54.
. Hovorka, Supinationsschwäche beim Plattfuß und ihre Behandlung. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 12. 1904.
ecker, W., Über Insuffizienz des Fußes. Med. Klin. 1909.
xgood, The comparative strenght of the adductor groups in the foot. Americ. Journ. of Orth. Surg. 1908.
leng, Die Rolle der langen Unterschenkelmuskeln in der Pathogenese, Prophylaxe und Therapie des Plattfußes unter besonderer Berücksichtigung des M. flexor hallucis longus. Zeitschr. f. Chir. Bd. 29. 1911.
übscher, Die Atrophie des Flexor hallucis longus beim Plattfuß. Zeitschr. f. Chir. Bd. 17. 1906.

Hübscher, Die operative Verstärkung des Flexor hallucis longus beim Pes valgus. Orthopädenkongreß 1910. Bd. 9.
Hofmann, Über Plattfüße. Inaug.-Diss. Kiel 1899.
— Zur Anatomie und Mechanik des Plattfußes und Hackenfußes. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 68. 1903.
Vulpius, O., Die Sehnenüberpflanzung und ihre Verwertbarkeit in der Behandlung der Lähmungen. Leipzig 1902.
Müller, E., Sehnentransplantationen und Verhalten der Sehnen beim Plattfuß. Zentralbl. f. Chir. 1903. Nr. 2.
Giani, R., Die Funktion des M. tibialis anticus in Beziehung zur Pathogenese des statisch-mechanischen Plattfußes. Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 14. 1905.
— Der M. tibialis anticus und die Pathogenese des statisch-mechanischen Plattfußes. Zeitschr. f. Chir. Bd. 23. 1909.

III. Das Kniegelenk.

Allgemeines über Anatomie und Mechanik.

Meyer, H., Die Mechanik des Kniegelenkes. Müllers Arch. 1853.
Robert, Über die Anatomie und Mechanik des Kniegelenkes. Gießen 1855.
Langer, C., Das Kniegelenk des Menschen. Sitzungsber. k. k. Akad. Wien XXXII. 1858.
Henke, W., Antikritik betreffend das Kniegelenk. Zeitschr. f. rat. Med. 14. 1861.
Hüter, Anatomische Studien an den Extremitätengelenken Neugeborener und Erwachsener. Das Kniegelenk. Virch. Arch. XXVI.
Delitzsch, E. R., Zur Physiologie und Pathologie des Kniegelenkes. Deutsche Zeitschr. f. Chir. VII. 1876.
Albrecht, Herm., Zur Anatomie des Kniegelenkes. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 7. 1877.
Fick, E., Zur Mechanik des Kniegelenkes. Arch. f. Anat. u. Entwg. 1877.
Albert, E., Zur Mechanik des Kniegelenkes. Ber. d. naturwiss.-med. Ver. Innsbruck 1879.
Terillon, Nouveaux détails sur l'anatomie et la physiologie de l'articulation du genou. Journ. de l'anat. et de la physiol. XV. 1879.
Poirier, P., Contribution à l'anatomie du genou. Progrès médical. 1886.
Bugnion, E., Le mécanisme du genou. Recueil inaug. Univ. Lausanne 1892.
Higgins, H., Geniculate articular surfaces of the femur and tibia. Journ. Anat. and Physiol. Vol. 30. 1895.
Poinsot, Neue Theorie der Drehung der Körper, übers. von Schellbach. Berlin 1851.
Reuleaux, Lehrbuch der Kinematik, 1. Bd. 1875, 2. Bd. 1900.
Braune, W. und Fischer, O., Die Bewegung des Kniegelenkes nach einer neuen Methode am lebenden Menschen gemessen. Abhandl. sächs. Gesellsch. d. Wiss., math.-phys. Kl. XVII. 1891.
— Nachträgliche Notiz über das Kniegelenk. Anat. Anz. XI. 1891.
Zuppinger, H., Die aktive Flexion im unbelasteten Kniegelenk. Züricher Habil.-Schr. Wiesbaden 1904.
Fischer, O., Kinematik organischer Gelenke. Braunschweig 1907.

Bänder und Menisci.

Langer, C., Einiges über die Bewegungen der Bandscheiben im Kniegelenk. Zeitschr. Gesellsch. d. Ärzte, Wien 1861.
Higgins, H., The semilunar fibrocartilages and the transverse ligament of the knee-joint. Journ. Anat. and Physiol. 29. 1894.
Virchow, H., Die Bedeutung der Bandscheiben im Kniegelenk. Verh. Physiol. Gesellsch. Berlin 1899—1900.
— Das Knie der japanischen Hocker. Verh. Berl. anthrop. Gesellsch. 1900.
— Das Skelett des gestreckten und gebeugten Knies. Verh. Anat. Gesellsch. Bonn 1901.

Kawan, S., Absprengungen und Knorpellösungen im Kniegelenk in besonderer Berücksichtigung der Meniscusverletzungen. Inaug.-Diss. Basel 1909.
König, F., Über Derangement im Kniegelenk in besonderer Berücksichtigung der Meniscusverletzungen. 1907.
Körber, K., Die Meniscusverletzungen des Kniegelenks. Inaug.-Diss. Bern 1910.

Quadriceps und Kniescheibe.

v. Meyer, H., Der Mechanismus der Kniescheibe. Arch. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. 1880.
Richter, Note sur la contraction du muscle quadriceps dans l'acte de donner un coup de pied. Compt. rend. Soc. de biol. T. 10. 1895.
Schmeder und Schrantzer, Über die Befestigungsmittel der Kniescheibe. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1909.
Joachimsthal, Über Struktur, Lage und Anomalien der menschlichen Kniescheibe. Arch. f. klin. Chir. 67. 1902.
Spoerri, C., Über kongenitale Luxationen des Kniegelenkes. Inaug.-Diss. Zürich 1892.
Bacilieri, Luc., Über kongenitale Luxationen im Kniegelenk. Inaug.-Diss. Bern 1905.
Ehrenberger, J., Über habituelle Patellarluxationen. Inaug.-Diss. Würzburg 1894.
Corner, E. M., The Varieties and Structure of the Patella of Man. Journ. Anat. Physiol. London. Vol. 34. 1900.
de Vriese, B., Zur Anatomie der Patella. Verh. Anat. Gesellsch. 22. Vers. 1908.
— Recherches sur l'anatomie comparée de la rotule. Bull. ac. r. de méd. de Belgique 1909.
— La signification morphologique de la rotule, basée sur des recherches anthropologiques. Bull. mém. Soc. anthrop. Paris. Sér. 6. T. 4. 1913.
Lamont, J. C., Note on the Influence of Posture on the Facets of the Patella. Journ. Anat. Physiol. Paris. T. 42. 1906.

Weiteres über die Wirkungsweise der Muskeln am Kniegelenk.

Meyer, G. H., Über die Kniebeugung in dem abstoßenden Beine usw. Arch. Reichert und du Bois 1869.
Fick, E., Zur Mechanik des Kniegelenkes. Arch. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. 1877.
Bugnion, E., De l'action des muscles du genou. Biblioth. univ. 1892.
Higgins, H., The popliteus muscle. Journ. Anat. and Physiol. 29. 1894.
Fürst, C. M., Der Musculus popliteus und seine Sehne. Fysiografiska Sällskapets Handlingar Nyföljd. Bd. 14. Lund 1903.
Corsy, F., Le poplité et la pronation de la jambe. Bibl. anat. 1908.

Entwicklung des Kniegelenkes und seiner Stellung in der Extremität.

Bernays, A., Die Entwicklungsgeschichte des Kniegelenkes des Menschen mit Bemerkungen über die Gelenke im allgemeinen. Morphol. Jahrb. 4. 1878.
Fürst, Carl M., Nagra bidrag till knäledens utvecklings historia. Hygiea 1903.
Kazzander, G., Sullo svilluppo dell' articolazione del ginocchio. Monit. zool. Ital. Vol. 5. 1894.
Grynfeltt, E., Sur les premiers stades de la formation de la cavité articulaire du genou chez l'homme. Bull. Soc. anat. Paris. T. 79. Sér. 7. 1904.
— Note sur le développement de l'articulation du genou chez l'homme. Montpellier. Méd. Nr. 25, 26 et 27. 1904.
Merkel, Fr., Betrachtungen über das Os femoris. Virch. Arch. LIX.
Braune, W., Über die Torsion der menschlichen Tibia. Diss. Leipzig 1877.
Mikulicz, H., Über die individuellen Formdifferenzen am Femur und an der Tibia mit Berücksichtigung der Statik des Kniegelenkes. Arch. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. 1878.
Le Damany, P., La torsion du Tibia normale, pathologique, expérimentale. Journ. Anat. et Physiol. Paris. T. 45. 1909.

Retzius, G., Über die Aufrichtung des fetal retrovertierten Kopfes der Tibia beim Menschen. Zeitschr. f. Morphol. u. Anthropol. Bd. 2. 1900.
Brachet, A., Sur l'incurvation en arrière de la tête du tibia chez le foetus humain et le nouveau-né. Ann. Soc. méd. chir. Liège. Ann. 39. 1900.

IV. Das Bein als Ganzes.

Feststellung der verschiedenen Beingelenke beim Stand.

Meyer, G. H., Lehrbuch der Anatomie des Menschen. II. Aufl. 1861. S. 151 u. ff.
— Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. 1873. S. 192.
du Bois-Reymond, R., Über die Fixation des Kniegelenkes beim Stehen. Verh. Physiol. Gesellsch. Berlin 1899—1900.

Ein- und mehrgelenkige Muskeln.

Siehe Literaturverzeichnis zum I. Bd. d. Lehrb. S. 209, ferner

Borelli, J. A., De motu animalium. Lugduni Batavorum 1679.
Weber, W. und Weber, Ed., Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Göttingen 1836 und W. Webers gesammelte Werke 6. Berlin 1894.
Hüter, C., Anatomische Studien an den Extremitätengelenken Neugeborener und Erwachsener. Virch. Arch. Bd. 28.
— Über Längeninsuffizienz der bi- und solyarthrodialen Muskeln. Ihre Bedeutung für die Muskelkraft. Virch. Arch. Bd. 46.

Druck der Königl. Universitätsdruckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

Lehrbuch

der

uskel- und Gelenkmechanik

Von

Dr. H. Straßer
o. ö. Professor der Anatomie und Direktor des anatomischen Instituts
der Universität Bern

IV. Band: Spezieller Teil

Die obere Extremität

Mit 139 zum Teil farbigen Textfiguren

Berlin
Verlag von Julius Springer
1917

Alle Rechte, insbesondere
das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis.

Die obere Extremität.

Seite

Inhaltsverzeichnis . . . . . I—VIII

Einleitung 1

I. Schulter und Oberarm 3

A. Anatomische Übersicht. Skelett und Muskeln 3

α) Das Schulterblatt 3

β) Das Schlüsselbein 6

γ) Der Humerus 7

δ) Übersicht über die Gruppierung der Schultermuskulatur 9

B. Das Schultergelenk 17

α) Gelenkkörper und Gelenkflächen 17

1. Die Gelenkfläche des Humerus 17
2. Die Gelenkpfanne 20
3. Der Charakter des Gelenkes 21

β) Die Stellungen und Bewegungen im Schultergelenk 21

1. Definition der Stellung des Humerus im Schultergelenk 21
2. Der Bewegungsumfang im Schultergelenk 25
3. Die Mittelstellung 28
4. Charakterisierung der Stellungsänderungen des Humerus im Schultergelenk 29
5. Definition instantaner und initialer Bewegungen und Beschleunigungen 33

γ) Die Muskelaktion am Schultergelenk 33

1. Bestimmungsmethoden. Das Muskelphantom 33
2. Tatsächliche Ermittelungen über die Wirkungsweise der Schultergelenkmuskeln 37
3. Arbeitsvermögen der Muskeln des Schultergelenkes 40

δ) Schlußpräparation des Schultergelenkes 42

1. Bemerkungen zur Präparation 42
2. Die Schultergelenkkapsel und ihre Beziehungen zur umgebenden Muskulatur 43

αα) Allgemeines 43

ββ) Die lange Sehne des Biceps und die Bursa synovialis intertubercularis 44

γγ) Die Verhältnisse am oberen Rande des M. subscapularis . 46

3. Eigenbänder der Kapsel 47

αα) Das Lig. coraco-humerale (superius) 47

ββ) Die Ligg. gleno-humeralia 48

4. Beurteilung der Inanspruchnahme der Kapsel 51

Seite

5. Verhalten der Kapsel bei senkrecht herabhängendem Oberarm und Wirkungsweise des Luftdruckes am Schultergelenk . . . 55

ε) Die Luxationen des Schultergelenkes 59

C. Die Verbindung zwischen Schulterblatt u. Schlüsselbein 63

α) Das Akromioklavikulargelenk 63

β) Die Syndesmosis coraco-clavicularis 64

γ) Normen zur Bestimmung der Stellungen und Stellungsänderungen der Scapula gegenüber der Clavicula 66

δ) Die tatsächlich stattfindenden Exkursionen zwischen Scapula und Clavicula und die Inanspruchnahme der Bänder bei denselben . 69

1. Bewegung um die Pendelachse und Nebenbewegungen 69

2. Bewegung entlang Meridianen und Parallelkreisen der Exkursionskugel 70

D. Das Sternoklavikulargelenk und die Clavicula: 72

α) Bestimmung der Stellungen und Bewegungen im Sternoklavikulargelenk 72

β) Exkursionsmöglichkeiten, Exkursionsgrenzen und Verkehrsgebiet der Clavicula im Sternoklavikulargelenk 74

γ) Kräfte zur Bewegung des Schlüsselbeins 75

δ) Anatomie und Entwicklung des Sternoklavikulargelenkes 77

1. Zweikammerigkeit. Meniscus 77

2. Entwicklung des Sternoklavikulargelenkes 78

3. Verlauf und Krümmung der Gelenkspalten 79

4. Kapsel und Bänder. Bewegungsbeschränkung. 80

ε) Die mechanische Inanspruchnahme der Clavicula 84

1. Passive Hemmung der Exkursion im Gelenk 84

2. Druck in der Längsrichtung der Clavicula gegen das Gelenk . 84

3. Zugwirkung in der Clavicula. 85

4. Vergleichend Anatomisches 86

E. Stellungen und Stellungsänderung des Schulterblattes . 87

α) Allgemeine Orientierung. Definitionen 87

β) Bedeutung der Muskeln und des Luftdruckes für den Kraftschluß 89

γ) Parallelverschiebung der Schulter 91

1. Vor- und Rückführung des Schulterblattes 91

2. Reine Hebung und Senkung der Schulter. 93

δ) Aufrichtung und Querrichtung des Schulterblattes 94

F. Kombinierte Schulter- und Armbewegung 95

α) Umstellung des Schulterblattes bei der Armhebung 95

1. Drehung des Schulterblattes in seiner Ebene bei der Armhebung 95

2. Flächenumstellung des Schulterblattes bei der Armhebung . . 99

3. Bedeutung der besprochenen Erscheinungen 99

4. Rückbewegung des Armes 104

β) Vergrößerung der Exkursionen des Armes durch die Beteiligung der Schulter, des Stammes und der Beingelenke 105

1. Umfang der möglichen Exkursion 105

2. Zeitliche Verhältnisse des Zusammenwirkens 106

G. Die zwischen dem Stamm und der Schulter wirkenden Kräfte. (Theoretische Analyse.) 107

Vorbemerkungen 107

α) Statische Aufgaben 109

β) Kinetische Aufgaben 112

1. Kleine initiale Bewegungen bei freiem Schulterblattarmkomplex 113

2. Initiale Bewegungen bei aufgestütztem oder oben festgehaltenem Schulterblattarmkomplex 114

Seite

H. Die Wirkungsweise der Schultermuskeln 115

Vorbemerkungen. Molliers Muskelphantom 115

α) Normalhaltung der Schulter 118
β) Parallelbewegungen der Schulter 122
1. Reine Schulterhebung 122
2. Senkung der Schulter 123
3. Vorbewegung der Schulter. 123
4. Rückführung der Schulter 124
γ) Kombinierte Bewegungen von Schulter und Arm 124
1. Seitliche Hebung des Armes 124
2. Hebung des Armes nach vorn 125
3. Rückführung des gesenkten Armes 127
4. Zusammenfassung. 128
δ) Aktionen an Arm und Schulter bei distaler Feststellung des Armes. Armstütze. Hang. 130
ε) Einiges über den Einfluß der Lähmung von Schultermuskeln . . 132
1. Lähmung des Trapezius 133
2. Lähmung des Serratus anterior 134
3. Lähmung der Rhomboidei und des Levator scapulae 138

I. Vorderarm und Hand 139

A. Orientierung über das Skelett und die in ihm möglichen Bewegungen 139

α) Das Skelett des Vorderarmes 139
1. Die Ulna 139
2. Der Radius 141
β) Das Skelett der Hand 143
1. Übersicht über die Skeletteile 143
2. Übersicht über die Gelenke der Hand 146
3. Vorläufige Orientierung über die an der Hand möglichen Bewegungen 150
4. Stellungsänderungen der Hand gegenüber dem Radius und der Ulna 152

B. Muskeln und Faszien des Vorderarmes und der Hand und ihre Präparation 154

α) Übersicht der Muskelgruppierung an Vorderarm und Hand . . . 154
1. Dorsale Muskeln 154
2. Volare Muskeln. 155
β) Muskeln und Faszie der Dorsalseite 155
1. Muskeln und Sehnen 155
2. Faszie der Dorsalseite 161
γ) Muskeln und Faszie der Volarseite 164
1. Die kurzen Muskeln der Handstrahlen 164
2. Die tiefen volaren Muskeln des Vorderarms und ihr Verhalten in der Hohlhand. Lumbrikalmuskeln 168
3. Die oberflächlichen volaren Muskeln des Vorderarms 171
4. Die volare Faszie des Vorderarms und der Hand 171
a) Die tiefe volare Faszie der Hohlhand 172
b) Die oberflächliche volare Faszie des Vorderarmes und der Hand und der M. palmaris brevis 172
δ) Die Sehnenscheiden der Hohlhand 176
ε) Einige Bemerkungen zur Präparation der Hand 177

Seite

C. Gelenke und Bewegungen der Handstrahlen 179

α) Die Interphalangealgelenke 179
β) Das Daumenmetakarpophalangealgelenk 180
γ) Die Metakarpophalangealgelenke der langen Finger 181
1 Gelenkkörper 181
2 Kapsel und Bänder 182
3. Die Stellung der Grundphalangen zu den Metacarpalia und das Listingsche Gesetz 184
4. Entwicklungsmechanisches 186
5. Die Wirkung der Muskeln zur isolierten und zur gemeinsamen Bewegung der langen Finger 187
δ) Das Basalgelenk des Daumens 192
1. Orientierung über die Bewegungsmöglichkeiten 192
2. Charakter des Gelenkes, Gelenkflächen und Drehungsachsen . 193
3. Kapsel und Bänder 195
4. Theoretisches über das Sattelgelenk 196
5. Die Daumenmuskeln 201
ε) Die übrigen Carpometakarpalgelenke und die zweite Handwurzelreihe 204

D. Das Handgelenk 210

Vorbemerkung. Orientierung über die Stellungen und Bewegungen im Handgelenk. Hilfsmittel der Untersuchung 210
α) Das große Intrakarpalgelenk 212
1. Gelenkkörper und Gelenkflächen 212
2. Die Radialulnarbewegung im Intrakarpalgelenk 216
Eigenbänder der ersten Handwurzelreihe 217
3. Die Dorsalvolarbewegung im Intrakarpalgelenk 218
a) Dorsalvolarbewegung bei radialem Kraftschluß 219
Bewegung zwischen Lunatum, Naviculare und Grundteil . 221
b) Dorsalvolarbewegung bei ulnarem Kraftschluß und festgehaltenem Lunatum 223
c) Schräge Dorsalvolarbewegung bei ulnarem Kraftschluß und festgehaltenem Triquetrum 224
d) Mittlerer Kraftschluß 225
4. Grenzen der Exkursion im Intrakarpalgelenk 227
β) Das Radiokarpalgelenk 227
1. Gelenkkörper und Gelenkflächen 227
2. Die Stellungen und Bewegungen im Radiokarpalgelenk . . . 229
3. Theoretisches über das sog. Ellipsoidgelenk 231
a) Reines Hohlringflächenspindelgelenk 231
b) Das Radiokarpalgelenk ein modifiziertes Hohlringflächenspindelgelenk mit Kompromißachsen 235
4. Gilt für das Radiokarpalgelenk das Listingsche Gesetz? . . 240
5. Das Hohltonnenflächenringgelenk 242
6. Das Kompromißgelenk und das ideale Gelenk mit zwei Graden der Freiheit nach O. Fischer 243
7. Die Frage der Fixationsbänder am Ellipsoidgelenk 246
γ) Die gemeinsame Bewegung in beiden Handgelenken 248
Vorbemerkung 248
1. Die Dorsalvolarbewegung im gemeinsamen Handgelenk. . . . 248
2. Die Radialulnarbewegung im gemeinsamen Handgelenk . . . 250
3. Henkes Lehre von den Bewegungen im Handgelenk 255
4. Der Umfang der Bewegungen im Handgelenk und seinen Unterabteilungen 259

Seite
δ) Kapsel und Bänder des Handgelenkes 264
1. Kurze Bänder der ersten Handwurzelreihe 264
2. Kapsel und Bänder an der Dorsalseite des Handgelenkes . . 265
a) Dorsale Verstärkungsfasern-(bänder) des Radiokarpalgelenkes 266
b) Dorsale Kapselwand des Intrakarpalgelenkes 267
3. Kapsel und Bänder an der Volarseite des Handgelenkes. . . . 269
ε) Muskelwirkung am Handgelenk 274
1. Volar- und Dorsalbewegung 274
2. Muskeln der Radialulnarbewegung 275
γ) Arbeitsvermögen 276

Das Ellbogengelenk und die Radioulnarverbindung 279

Einige Vorbemerkungen über die äußere Form und Formveränderung der Ellbogen- und Vorderarmgegend 279
α) Das Ellbogengelenk und die Flexions-Extensionsbewegung . . . 282
1. Erste Orientierung über das Ellbogengelenk und die in ihm möglichen Bewegungen 282
2. Besonderheiten des Ellbogenginglymus 284
3. Kapsel und Bänder des Ellbogengelenkes 291
4. Die Frage nach dem Schraubengelenkcharakter des Ellbogengelenkes 295
5. Genauere Bestimmung der zwischen Humerus und Ulna möglichen Bewegungen (Braune-Kyrklund, O. Fischer, Hultkrantz) 296
6. Schlußrotationen im Ellbogengelenk 300
7. Der Kubitalwinkel und die Aufbiegung der Gelenkenden nach der Beugeseite 303
8. Wirkungsweise der Muskeln zur Beugung und Streckung des Ellbogengelenkes 306
β) Die Radioulnarverbindung und die Sonderbewegungen des Radius gegenüber der Ulna und dem Humerus 307
1. Allgemeines über Pronation und Supination 307
2. Anatomische Verhältnisse des unteren Radioulnargelenkes . . 309
3. Das obere Radioulnargelenk 310
4. Die Membrana interossea (Lig. interosseum). 311
a) Die Faserung der Membrana interossea 312
b) Die Funktion der Membrana interossea 314
5. Der Umfang der pronatorischen und supinatorischen Exkursion 317
6. Kräfte zur Pronation und Supination 319
7. Mitbewegung der Ulna bei der Pronation und Supination . . 321

. Der Arm als Ganzes 325

α) Gleichzeitige Stellungsänderung in verschiedenen Armgelenken, Veranschaulichung derselben 325
1. Gemeinsame Bewegung im Schulter- und Ellbogengelenk. Verhalten der Muskeln 325
2. Veranschaulichung der gleichzeitig in verschiedenen Armgelenken möglichen Stellungsänderungen. 326
β) Die Ausbildung der Gelenkstellungen der Extremitäten und die sog. Torsion des Humerus und des Femur 332
γ) Die verschiedenen Arbeitsleistungen der oberen Extremität . . . 345
1. Allgemeines 345
a) Klassifikation der Arbeitsleistungen der oberen Extremität. 346
b) Einfache Arbeitsleistung am einzelnen Körperglied 348

Seite

c) Allgemeine Bemerkungen über das Verhalten der Gelenke näher der Unterstützungsfläche bei der Aktion an entfernteren Gelenken 349

2. Besprechung einiger kombinierter Aktionen, bei welchen die Arme beteiligt sind 353

a) Gewichtheben (Gewichtdrücken und Gewichtreißen) 353

b) Die Wurfbewegung verglichen mit dem Sprung, Kugelstoßen. Diskuswurf 356

c) Stoß, Schlag und Hieb 361

3. Lokomotorische Arbeitsleistungen der freien oberen Extremität 363

a) Einfluß der Armbewegungen auf das Körpergleichgewicht . 363

b) Der Sprung und die Unterstützung desselben durch die Bewegung der freien Arme 364

4. Lokomotorische Aktionen des Arms, bei welchen der nützliche äußere Widerstand am Arm selbst erzeugt wird 365

a) Allgemeines 365

b) Streckhang und turnerische Übungen aus dem Streckhang, Schwingen im Hang, Kippen 366

V. Literaturverzeichnis 371

Einleitung.

An der oberen Extremität des Menschen unterscheiden wir den lanken, in der Mitte im Ellbogengelenk zusammenlegbaren, am Ende Hand verbreiterten freien Arm und den Schulterteil, welcher Verbindung des freien Arms mit dem Stamm vermittelt und für ihn en undeutlich zweiflügligen, aus der Masse des Rumpfes vorragenden, Stamm etwas verschieblichen Sockel bildet. In der Weichteilmasse Schulter steckt als Support für das Skelett des freien Armes der hultergürtel, im wesentlichen eine giebelförmige Skelettbrücke an Seite des Stammes, die sich mit dem hinteren Schenkel der hinteren, dem vorderen der vorderen Wand des Brustkorbes anlegt. Sie beht aus einem ventralen schlanken Skelettstück, dem Schlüsselin (Clavicula), dessen inneres Ende in dem oberen Winkel zwischen ustbein und erster Rippe eingelenkt ist, und aus einem dorsalen, ttenartig verbreiterten Element, dem Schulterblatt (Scapula), s mit dem Stamm nur durch Muskeln verbunden ist. Dicht unter Stelle, wo die beiden Elemente zur Bildung eines vom Stamm abhenden Giebels zusammenstoßen, ist, noch im Bereich der Weichteilsse der Schulter, das Achsenskelett des freien Armes mit dem Schulterätt im Schultergelenk verbunden.

Die freie Extremität wird zwischen Hand und Schulter durch das lbogengelenk in zwei ungefähr gleich große Abschnitte, den Oberm einerseits, den Vorderarm mit der Hand andererseits, geteilt. as Achsenskelett des freien Armes ist nach einem ähnlichen Plane nstruiert, wie dasjenige der freien unteren Extremität; es zeigt nach m freien Ende hin eine flächenhafte Verbreiterung und reichere Gliederung. Im Oberarm, zwischen Schulter- und Ellbogengelenk wird es rch das einfache stabförmige Oberarmbein (Humerus) gebildet.

Der Vorderarm enthält zwei schlanke, annähernd parallel nebenander verlaufende, nur an beiden Enden sich berührende, sonst durch Spatium interosseum mit Membrana interossea getrennte ements: die zum Daumenrand der Hand verlaufende Speiche adius) und die dem Kleinfingerrand der Hand zustrebende Elle lna). Das Skelett der Hand besteht wie dasjenige des Fußes aus einer fachen Schicht von Skelettstücken, die im proximalen Teil eng zuammengeschlossen sind (Handwurzel, Carpus) und distalwärts in

fünf getrennten gegliederten Strahlen auseinander laufen. Der geschlossene Teil ist aber relativ viel schwächer, die Strahlen sind relativ mächtiger entwickelt als am Fuß.

Am freien Arm verlaufen die Muskeln wie am Bein wesentlich der Länge nach. Sie greifen auch hier am mittleren Gelenk, und zwar vom Ober- und Vorderarm her nur wenig übereinander, während am Schultergelenk zu den Muskeln, welche dem Schultergürtel und Stamm angeschmiegt oder längs dem Oberarm gelagert sind und sich unmittelbar jenseits resp. diesseits des Gelenkes anheften, noch solche hinzukommen, welche in ziemlicher Entfernung vom Gelenk beginnen und enden. Gerade sie rücken auch seitlich weiter vom Gelenk ab und bewirken, daß die Schulter mehr allmählich in den freien Arm übergeht. Andererseits erstrecken sich die Muskeln des Vorderarms zum großen Teil in die Hand hinein und gesellen sich dort zu den kurzen Muskeln der Hand. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, bei der Präparation und Untersuchung der Muskeln und Gelenke der oberen Extremität einmal die ganze Schulter und den Oberarm, und dann wieder den Vorderarm mit der Hand im Zusammenhang zu behandeln. Die Untersuchung des Ellbogengelenkes kann wie diejenige des Kniegelenkes bei der unteren Extremität auf den Schluß verspart werden.

Die gleiche Reihenfolge werden wir auch in unserer Besprechung der mechanischen Verhältnisse innehalten.

So gliedert sich der Stoff naturgemäß in drei ungleiche Hauptabteilungen. Eine vierte ist den kombinierten Bewegungen und Aktionen der ganzen Extremität gewidmet. Den beiden ersten Abteilungen schicken wir entsprechend unserem Verfahren bei der unteren Extremität eine kurze Orientierung über die anatomischen Verhältnisse des Skelettes und der Muskeln voraus.

So sehr es sich dabei um Bekanntes und vielfach Beschriebenes handelt, so halte ich solches doch für ersprießlich und notwendig aus den Gründen, die ich in der Einleitung zum zweiten Bande dieses Lehrbuches auseinandergesetzt habe.

I. Schulter und Oberarm.

A. Anatomische Übersicht. Skelett und Muskeln.

α) Das Schulterblatt.

Wir unterscheiden an ihm eine Hauptplatte und eine Nebenplatte. Die Hauptplatte entspricht ungefähr einem rechtwinkligen Dreieck. Ihr lateraler oder axillarer, am Körper bei Ruhehaltung des Armes schräg nach außen und etwas nach vorn aufsteigender Rand stellt die Hypotenuse des Dreiecks dar, der obere Rand die kürzere Kathete; die andere, längere Kathete des Dreiecks wird durch den der Wirbelsäule benachbarten vertebralen oder spinalen Rand (Basis scapulae) gebildet. Der obere und der vertebrale Rand treffen sich annähernd rechtwinklig im sog. „Angulus scapulae", der vertebrale und der axillare Rand spitzwinkelig in der sog. „Spitze" des Schulterblattes. An der Stelle des oberen äußeren Winkels, zwischen dem oberen und dem axillaren Rand verbreitert sich die Platte quer zu ihrer Fläche zur Pars glenoidalis, welche die Gelenkpfanne für den Humerus bildet (Gelenkwinkel). Das Schulterblatt liegt mit seiner Hauptplatte hinten resp. hinten außen am Brust-

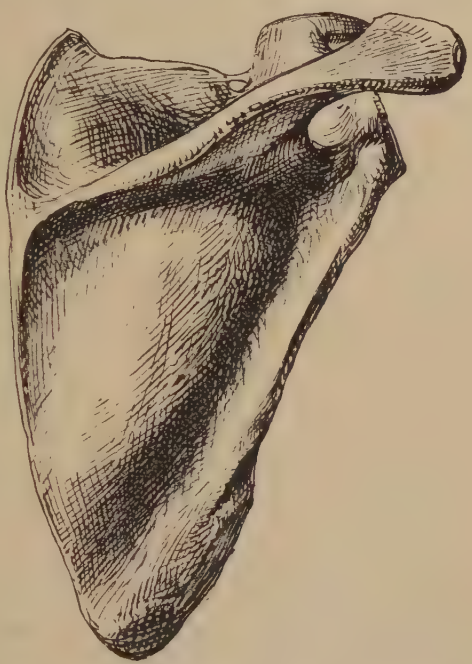


Fig. 1. Schulterblatt. Dorsale Breitseite.

korb, sich lateralwärts von ihm abhebend, doch so, daß der Gelenkwinkel weiter nach vorn steht als die Basis. Letztere erstreckt sich etwa von der 2. oder 3. bis zur 8. oder 9. Rippe (ihren benachbarten Teilen, bei aufrechtem geradem Stand und Ruhehaltung des Armes.

Von den beiden Breitseiten des Schulterblattes ist die vordere oder ventrale dem Thorax zu und etwas nach innen gewendet; sie ist flach ausgehöhlt (Fossa scapularis). Die hintere oder dorsale Breitseite ist dorsalwärts und zugleich etwas nach außen gewendet.

Die Muskeln, welche die Breitseiten des Schulterblattes bepolstern (tiefe Schulterblattmuskeln), verlaufen in der Richtung von der Basis

Fig. 2. Schulterblatt. Ventrale Breitseite.

gegen das Schultergelenk, um sich unmittelbar jenseits desselben am Humerus anzusetzen. Ihre Richtung entspricht der eigentlichen Längsrichtung des Schulterblattes, was bei vierfüßigen Säugetieren mit langem Schulterblatte noch deutlicher ausgesprochen ist. Zwischen den dorsalen, tiefen Muskeln des Schulterblattes erhebt sich näher dem oberen Rand aus einer solchen Längslinie die als dorsale Nebenplatte zu bezeichnende, nach außen an Höhe zunehmende Spina oder Crista scapulae, welche mit der Hauptplatte die Fossae supra- und infra-

inata bildet. Die an der Hauptplatte festsitzende Wurzel der Neben-
tte erreicht nicht den Pfannenrand, sondern bleibt von ihm etwas
fernt, so daß hierdurch sowohl wie durch einen benachbarten Ein-
nitt des oberen Randes (Incisura scapulae) gegenüber dem verdickten
lenkteile ein sog. Collum sca-
lae zur Ausprägung kommt. Die
sartige Einschnürung wird da-
rch noch auffälliger, daß jenseits
rselben, zwischen der Inzisur und
em Tuberculum supragle-
idale am oberen Pfannenrand,
dem oberen Rand der Haupt-
tte der Rabenschnabelfort-
tz (Proc. coracoides) vor-
ht. Dieser krümmt sich zu-
chst in der Fortsetzung der
rümmung der Hauptplatte nach
en vorn (über den oberen Rand
s Muskels der vorderen Breit-
te hinüber), um dann plötzlich
hr in die Längsrichtung des
uskels nach vorn außen abzu-
gen und sich zeigerartig bis vor
e vordere, obere Peripherie des
lenkes zu erstrecken.

Fig. 3. Schulterblatt von der Seite des axillaren Randes her gesehen.

Gleichsam ihm nach, über
n und den Muskel der Fossa supra-
inata hinüber, sendet der äußere
il des Randes der Crista scapu-
e einen von oben und unten her
geplatteten Fortsatz nach vorn,
elcher den höchstgelegenen Teil
s Schulterskelettes, die Schul-
erhöhe (Akromion), bildet. Das
nde dieses Fortsatzes liegt nach
en vorn außen vom Humerus-
pf im Schultergelenk. Zwischen
m und der Spitze des Proc. co-
coides spannt sich ein starkes,
n oben und unten her abgeplat-
tes Eigenband des Schulterblat-
s, das Lig. coraco-acromiale
s, welches mit diesen Fortsätzen
ne Art Bollwerk über dem Gelenk bildet. Es verdankt wohl seine
ntstehung eher der Anspannung der zwischen beiden Knochenfort-
tzen gelegenen Weichteile beim Andrängen des Humeruskopfes, als
nderungen im Abstand der beiden Fortsätze und ist deshalb nach seiner
unktion eher einem Faszienstreifen als einem wirklichen Skelettbande

gleichzustellen. Ähnlich verhält es sich mit dem Lig. transversum scapulae superius, welches sich in der Ebene der Incisura scapulae, oberhalb des durch letztere hindurchziehenden Nervus suprascapularis ausspannt.

Das Akromion ist vorn annähernd rechtwinklig zugeschnitten, mit einer äußeren, einer vorderen und einer inneren Randkante. Zwischen dem inneren Rand und dem Winkel, den das Sternalende des ersten Rippenknorpels mit dem Außenrande des ihn kopfwärts überragenden Manubrium sterni bildet, ist nun das Schlüsselbein wie eine Stemm- und Leitstange eingefügt.

β) Das Schlüsselbein.

Der mediale Teil der Clavicula schmiegt sich mit vorwärts konvexer Krümmung einigermaßen der Rundung des Halsstammes an.

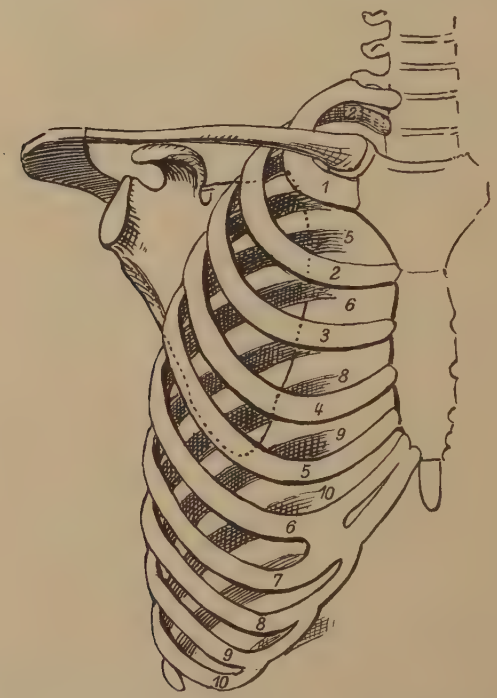


Fig. 4. Brustkorb und Schultergürtel, von vorn gesehen, bei Ruhestellung des Armes.

Der laterale Teil biegt vom Stamm nach außen ab, so daß eine äußere, vorwärts gewendete Krümmung hinzukommt und im ganzen eine leicht „S"-förmige Biegung in horizontaler Ebene entsteht. Die Clavicula

bindet sich mit dem Sternum und der ersten Rippe im Sterno-
avikulargelenk. Sie überkreuzt den Proc. coracoides und ist hier
dem Schulterblatte durch die Ligg. coraco-clavicularia ver-
den. Mit der Innenkante des Akromion artikuliert sie im Akromio-
avikulargelenk.

So bildet der Schultergürtel in der Schultergelenkgegend zwei
e Strecke weit voneinander gesonderte Skelettbogen, einen in-
en, welcher durch den Hals der Scapula, den Proc. coracoides und
Ligg. coraco-clavicularia dargestellt wird, und einen äußeren, der
s dem Akromion, der Akromioklavikularverbindung und dem Akro-
alende der Clavicula besteht.

Das akromiale Ende der Clavicula ist deutlich von oben und unten
abgeplattet, während der sternale Teil im Querschnitt rundlich
d am inneren Ende stark verdickt ist.

γ) Der Humerus.

Der Humerus, die Skelettstütze des Oberarmes, ist ein langer,
lanker Knochen. Wir unterscheiden an ihm das gerade Mittel-
ück und die beiden abgebogenen Gelenkenden. Als anatomische
sgangsstellung, auf welche sich die anatomische Beschreibung be-
ht, gilt diejenige Stellung, bei welcher der Humerus im Schultergelenk
rtikal herabhängt, und die Ellenbeuge genau nach vorn gerichtet ist.
as obere, skapulare Gelenkende ist nach oben und innen und etwas nach
nten, gegen die Scapula zu kurz abgebogen und zum Kopf verdickt.
as untere, kubitale Gelenkende ist leicht nach vorn abgebogen. Gegen
is untere Ende hin verbreitert sich das Mittelstück nach beiden Seiten,
n sich schließlich an der Hinterseite, unmittelbar über dem kubitalen
elenkkörper in zwei Balken zu sondern, die mit ihren Enden den quer-
stellten Gelenkkörper zwischen sich fassen. Doch bleibt innerhalb
ieses Rahmens vorn eine dünne Zwischenplatte erhalten, als Grund
ner hinteren Grube, der Fossa cubiti post. Diese dünne Platte ist
nter Umständen durchbrochen. Der kubitale Gelenkkörper besteht aus
nem inneren Teil, der Rolle (Trochlea), welche zwischen den Enden
ner beiden Balken gleichsam horizontal eingespannt ist, und einem
teralen Teil, der sich an die Rolle und den äußeren Randbalken an-
hließt, dem Humerusköpfchen (Capitulum humeri, Eminen-
ia capitata). Die Rolle liefert die Gelenkfläche für die Ulna, das
Humerusköpfchen diejenige für den Radius. Letzterer steht überdies
och in Berührung mit der über das Humerusköpfchen vorragenden
teralen Seitenfläche der Rolle.

Die innere Randkante des von vorn und hinten abgeplatteten
nd nach den Seiten verbreiterten unteren Abschnittes des Humerus
ndet in schärferer Aufbäumung nach innen und plötzlichem Absturz
ur Innenfläche der Rolle im einwärtsragenden Epicondylus medialis.
Die äußere Randkante endet auf der Außenseite der Eminentia capitata
nit einem viel niedrigeren und flacheren Vorsprung, dem Epicondylus
ateralis.

Der Humeruskopf am oberen Ende des Humerus bildet eine kugelflächenartige, nach oben innen und etwas hinten gerichtete überknorpelte Gelenkfläche für die Scapula. Er geht an der Unter- und Hinterseite mit scharfer Unterschneidung und Kehlung in den schmaleren kurzen Hals (Collum anatomicum) und durch diesen allmählich in das

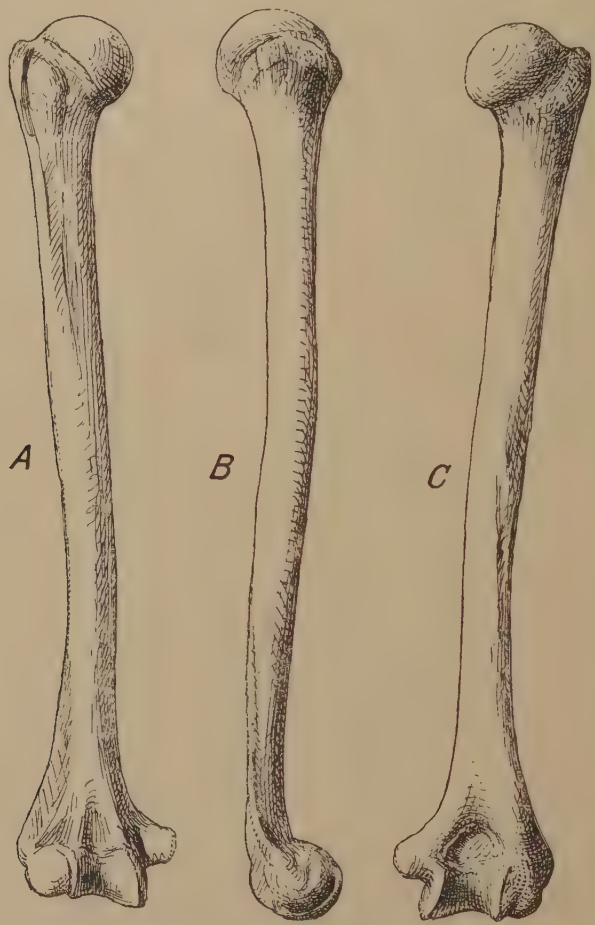


Fig. 5. Rechter Humerus. *A* von vorn, *B* von außen, *C* von hinten.

Mittelstück über. An der Ober- und Vorderseite ist der Übergang in das Collum anatomicum weniger deutlich markiert. Dieses aber grenzt sich dadurch schärfer vom Mittelstück ab, daß an der Umbiegungsstelle oben außen das breite Tuberculum majus, vorn das kleinere Tuberculum minus vorspringt. Gegenüber dem Mittelstück treten die Tubercula nur wenig und nur allmählich heraus. Immerhin spricht man

einem unterhalb derselben gelegenen Collum chirurgicum. Beide cker sind durch den vorn außen, in der Längsrichtung des Schaftes laufenden Sulcus intertubercularis voneinander getrennt.

Mit dem Gelenkkörper des unteren Humerusendes sind die beiden rderarmknochen so verbunden, daß der Radius mit seinem proximalen de außen neben den vorderen Teil des proximalen Endes der Ulna ben ihren Processus coronoides) zu liegen kommt. Beide Knochen ten bei der Beugung und Streckung im Ellbogengelenk zusammen den queren Gelenkkörper des Humerus, und zwar die Ulna um die chlea, der Radius um die Eminentia capitata herum nach vorn resp. h hinten. Außerdem kann sich der Radius im Ellbogengelenk gegen- r dem Humerus und gegenüber der Ulna um eine Achse drehen, che mit der Längsachse seines proximalen Endes zusammenfällt. e Nebenspalte des Ellbogengelenkes dringt zwischen Radius und na an ihrer proximalen Berührungsstelle hinein (oberes Radioulnar- nk als Teil des Ellbogengelenkes).

Übersicht über die Muskelgruppierung an Schulter und Oberarm.

Ein vollständiges, klares Bild vom Aufbau der Schulter (zunächst mal hinsichtlich des Skelettes und der Muskulatur) kann nur ge- nnen werden mit Hilfe eines fertigen Muskelpräparates oder indem man ber die ganze Gegend durchpräpariert. Es ist dazu aber noch notwen- , daß man von Einzelheiten absehen lernt, resp. die gesonderten nzelteile wieder in der Betrachtung und Vorstellung zu größeren, topo- phisch zusammengehörigen Komplexen vereinigt (s. Straßer, An- ung zur Präparation des Halses und Kopfes).

Gruppierung der Schultermuskeln.

I. Tiefe Schulterblattmuskeln.

a) Vordere: Subscapularis.
b) Hintere: Supraspinatus, Infraspinatus und Teres minor.

II. Längsmuskeln am Oberarm.

a) Bicepsgruppe: Coracobrachialis. Brachialis (internus). Biceps, langer und kurzer Kopf.
b) Triceps: Zwei kurze Köpfe und ein langer Kopf.

III. Tiefe Stamm-Schultergürtelmuskeln.

a) Hintere Gruppe: Vom Stamm zur Basis scapulae verlaufend: Rhomboideus major und minor, Levator scapulae, Serratus anterior.
b) Vordere Gruppe: In der Vorderwand des Achselraumes: Pectoralis minor, Subclavius und Omohyoideus.

IV. Mantelmuskeln (oberflächliche Muskellage der Schulter zwischen Stamm und Humerus).

a) Untere Gruppe: Von der Rückseite des Stammes und Schulterblattes zur Innenseite des Humerus: Teres major und Latissimus dorsi.

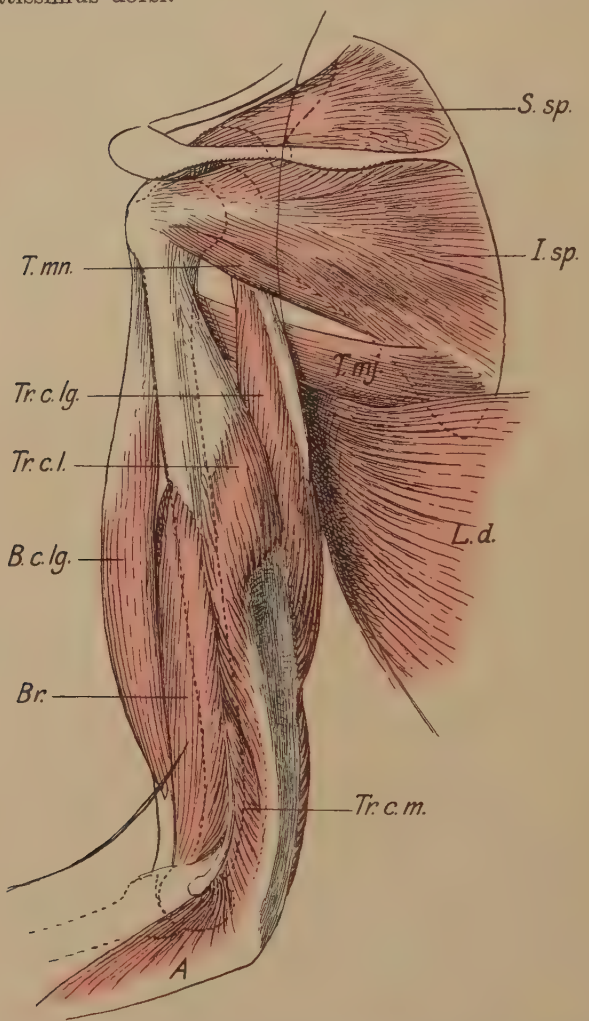


Fig. 6. Tiefe Schulterblattmuskeln und Längsmuskeln des Oberarms von der Dorsalseite. *S. sp.* Supraspinatus, *I. sp.* Infraspinatus, *T. mn.* Teres minor, *Tr. c. lg.* Triceps caput longum, *Tr. c. l.* Triceps caput laterale, *Tr. c. m.* Triceps caput mediale, *Br.* Brachialis, *B. c. lg.* Biceps caput longum.

b) Obere Gruppe: Von hinten oben und vorn zur Außenseite des Humerus: Trapezius - Deltoides, (Sternocleidomastoideus), Pectoralis major.

1. Die tiefen Schulterblattmuskeln.

(Figg. 6 und 7.)

Sie fassen das Schulterblatt und Schultergelenk von vorn und hinten her zwischen sich und verlaufen in der Längsrichtung des Schulter-

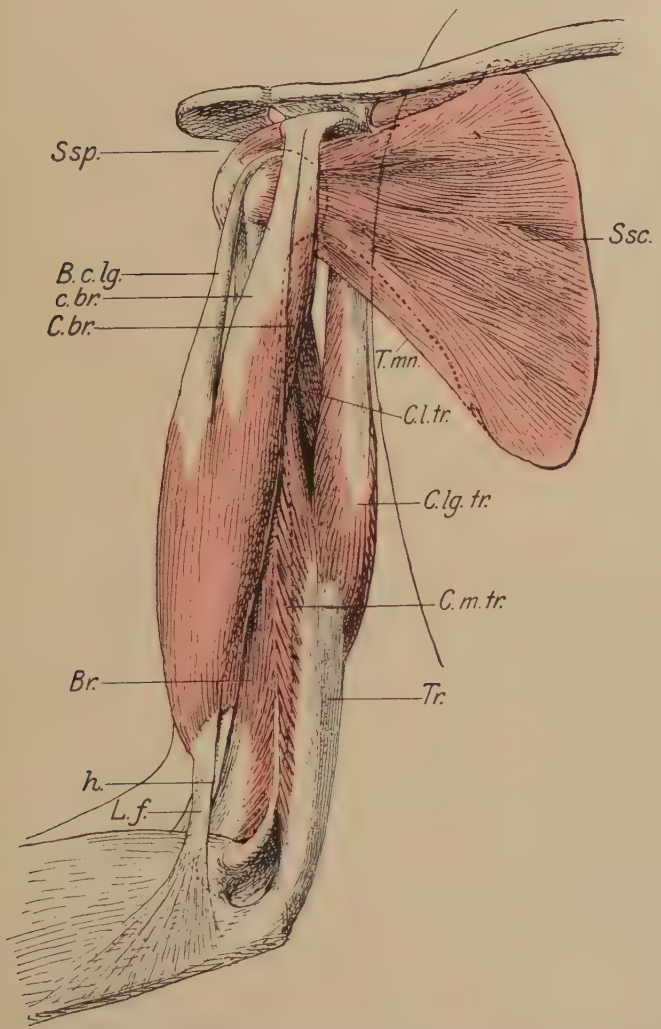


Fig. 7. Tiefe Schulterblattmuskeln und Längsmuskeln des Oberarms. Ventralseite. *Ssc.* Subscapularis, *C. lg. tr.* Caput longum des Triceps, *C. l. tr.* Caput laterale des Triceps, *C. m. tr.* Caput mediale des Triceps, *Br.* Brachialis, *C. br.* Coracobrachialis, *Bc. lg.* Biceps caput longum, *C. br.* Caput breve, *h.* Hauptsehne des Biceps, *L. f.* Lacertus fibrosus, *Ssp.* Supraspinatus.

blattes in der Richtung von seinem vertebralen Rand (Basis) gegen das Gelenkende hin. Der Subscapularis bepolstert die vordere Breitseite des Schulterblattes. Er zieht vor dem Gelenk vorbei zum Tuberculum minus. Die Muskeln der Hinterseite des Schulterblattes gehen oben und hinten am Gelenk vorbei zum Tuberculum majus. Zwischen dem Supra- und dem Infraspinatus erhebt sich als längsgerichtete Nebenleiste des Schulterblattes die Spina scapulae.

2. Die Längsmuskeln am Oberarm.

(Figg. 6 und 7.)

Sie greifen, zum Teil das Schultergelenk überspringend vom Arm her zwischen die vorderen und hinteren tiefen Schulterblattmuskeln ein bis zur Scapula. Die Bicepsgruppe (Coracobrachialis und Biceps) schiebt sich oben ein und erreicht den oberen Rand der Hauptplatte der Scapula (Tuberculum supraglenoideum und Processus coracoides), der Triceps (Cpt. lg.) dringt von außen und unten her zwischen jene Muskellagen hinein und erreicht den axillaren Rand der Hauptplatte am Tuberculum infraglenoideum. Am Ellbogengelenk liegt die Bicepsgruppe (Brachialis und Biceps) vorn, an der Beugeseite, der Triceps hinten, an der Streckseite.

Der Brachialis und die kurzen Köpfe des Triceps sind eingelenkige Muskeln des Ellbogengelenkes, der Coracobrachialis ist ein eingelenkiger Muskel des Schultergelenkes. Der Biceps mit seinen beiden Köpfen und der lange Kopf des Triceps überspringen und bedienen beide Gelenke.

Am Schultergelenk liegt der lange Kopf des Triceps an der eigentlichen, axillaren Beugeseite. Die Bicepsgruppe entspricht nach ihrer Anheftung am kranialen Rand der Schulterblatthauptplatte der wahren Streckseite des Gelenkes (s. S. 4) und geht über die Außenseite der von den tiefen Schulterblattmuskeln und dem Humeruskopf gebildeten Schlinge hinweg. Indessen sind Biceps und Coracobrachialis gleichsam von dem äußersten Scheitel dieser Schlinge und der Konvexseite des Gelenkes nach vorn und innen abgeglitten, am wenigsten die lange Bicepssehne, die im Sulcus intertubercularis hängen geblieben ist, dagegen in bedeutenderem Maße der Coracobrachialis und der kurze Kopf des Biceps, indem diese Muskeln durch ihren Ansatz am Processus coracoides vom Gelenk abgehoben sind und auf kürzestem Weg zwischen ihren Anheftungsstellen ausgespannt sein können. So sind sie, an der Vorderseite des Gelenkes und des Subscapularis nach innen rückend, dem Triceps bis auf einen geringen Abstand genähert, während am hinteren und äußeren Umfang des Gelenkes und des Humerus ihr Abstand von diesem Muskel entsprechend vergrößert ist.

3. Die tiefen Stammschultergürtelmuskeln.

(Figg. 8 und 9.)

Wir unterscheiden eine hintere und eine vordere Gruppe:

a) Die hintere Gruppe besteht aus 3 (4) Muskeln, welche der

Oberfläche des Stammes entlang von drei Seiten her zur Basis scapulae ziehen: die beiden Rhomboidei (major und minor) steigen auswärts ab, von den oberen Brust- und unteren Halswirbeldornen her zur ganzen Länge der Basis, der Levator scapulae zieht von den Halswirbel-Querfortsätzen seitlich hinab zum Angulus scapulae, der Serratus anterior verläuft von den 8—9 oberen Rippen rückwärts und rückwärts aufwärts ebenfalls zur ganzen Länge der Basis.

b) Die vordere Gruppe bildet die tiefe Schicht der Vorderwand des Achselraumes und besteht aus drei Muskeln. Der mittlere, der M. subclavius schließt sich der Clavicula unten an; er entspringt nach außen vom Sternoklavikulargelenk an der ersten Rippe und inseriert an der Unterseite des verbreiterten Außenteils der Clavicula. Abwärts davon verbindet der Pectoralis minor die 2.—5. Rippe auswärts aufsteigend mit der Spitze des Processus coracoides. Oberhalb der Clavicula zieht der schmale M. omohyoideus (durch den Sternocleidomastoideus des Halses niedergehalten und in der Mitte sehnig umgewandelt) vom Zungenbein zum inneren Skelettbogen des Schultergürtels (s. o.), an dessen oberem Rande er im Verlauf der Ontogenese an der Clavicula zu den Ligg. coraco-clavicularia und von ihnen aus am oberen Rand der Hauptplatte der Scapula mehr oder weniger weit rückwärts wandert, unter Umständen bis nahe an den Angulus scapulae.

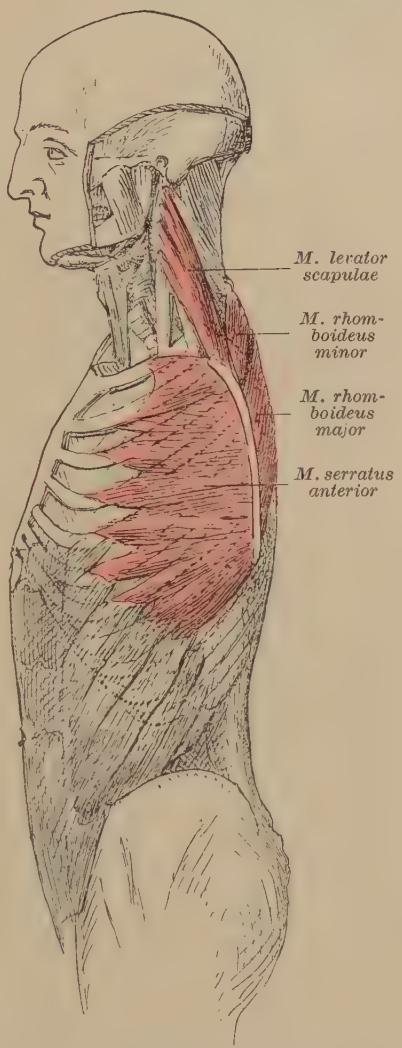


Fig. 8. Hintere Stamm-Schultergürtelmuskeln von der Seite.

4. Die Mantelmuskeln.

(Figg. 9 bis 11.)

Oberflächlich an alle bis jetzt genannten Skeletteile und Muskeln der Schulter, welche den zentralen Achselraum begrenzen, legt sich nun die Mantelmuskulatur.

Die Mantelmuskeln.

a) Die eine untere Gruppe derselben (Teres major und Latissimus dorsi) zieht, obwohl vom Rücken und von der Hinterseite des Schulterblattes (der den M. infraspinatus deckenden Faszie) herkommend, am Außenrande des Schulterblattes und vor dem Caput longum des Triceps vorbei in den vorderen engen Zwischenraum zwischen letzterem und der Bicepsgruppe und zum Humerusfeld unter dem Tuberculum minus (Crista tuberculi minoris). So rückt zum Schluß diese Muskulatur in die gleiche Flucht mit dem vorderen Schulterblattmuskel (M. subscapularis).

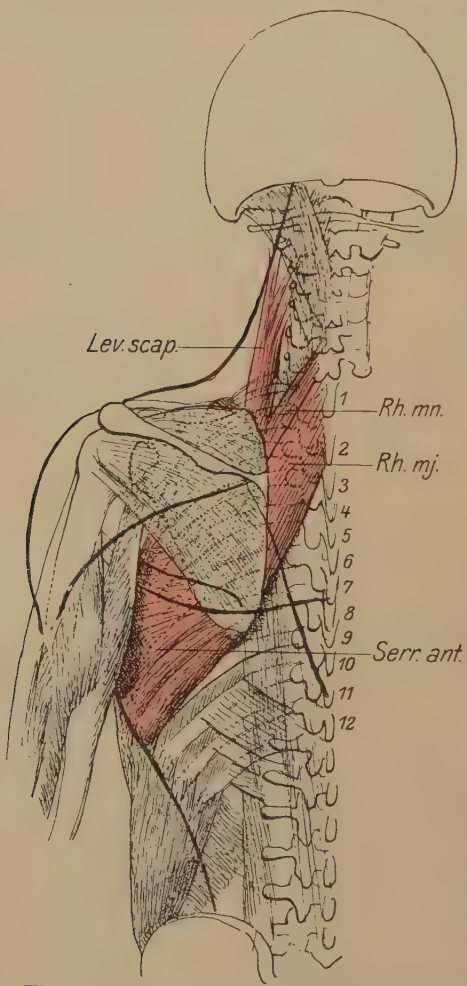


Fig. 9. Hintere Stamm - Schultergürtelmuskeln. Konturen der Mantelmuskeln von hinten.

b) Die obere Gruppe der Mantelmuskeln gelangt von vorn oben, außen oben und hinten oben her in den größeren, hinten und außen am Humerus vorhandenen Zwischenraum zwischen Bicepsgruppe und Triceps und zum äußeren hinteren Humerusfeld unter dem Tuberculum majus. An dem vorderen Rande dieses Feldes (Tuberositas humeri) inseriert der Pectoralis major, im übrigen Teil nach unten hin der Deltoides. Nur der untere Teil des Pectoralis major, die Portio sternocostalis (und abdominalis) gelangt direkt vom Stamm dahin; die Portio clavicularis dagegen entspringt an der Clavicula. Man kann diesen Teil mit einem gewissen Recht als in der Fortsetzung der Schlüsselbeinportion des M. sternocleidomastoideus gelegen ansehen. Viel deutlicher erscheint der M. deltoides als Fortsetzung des Trapezius, welcher Muskel sich da an der Spina scapulae, dem Akromion und dem akromialen Ende der Clavicula innen inseriert, wo außen

der Deltoides entspringt. Spina scapulae, Akromion und Clavicula sind gewissermaßen in die vom Stamm aus zum freien äußeren, hinteren Humerusfeld hinziehende Muskellage eingeschaltet.

Durch die Mantelmuskeln kommt nun eine viel weiter ausgebreitete Abgrenzung eines Achselraumes zustande, in dessen Außenhinterwand

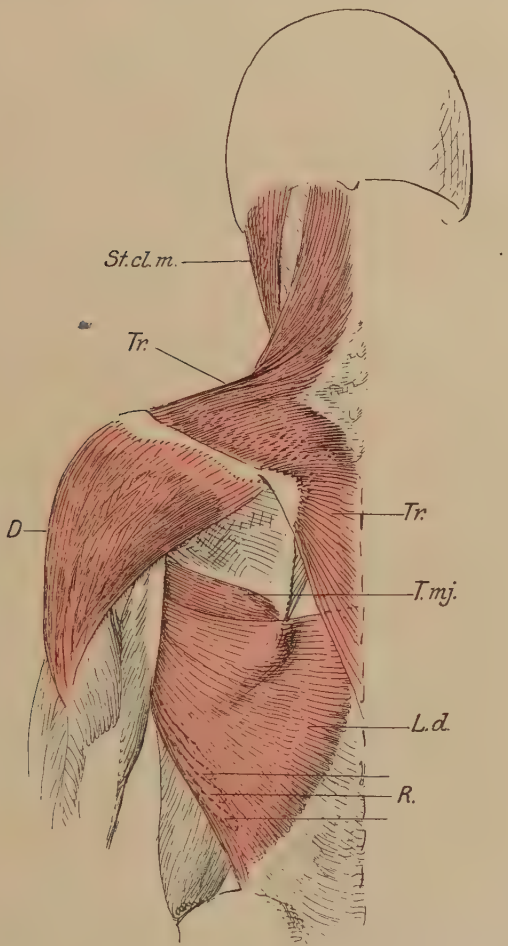


Fig. 10. Mantelmuskeln von hinten.

auch das Schultergelenk und der Anfang des Armes einbezogen sind; zu dem zentralen Achselraum, der von der Brustwand und dem Serratus anterior, vom Subscapularis und von den vorderen Stammschultergürtelmuskeln begrenzt ist, kommen Vor- und Nebenräume hinzu

(s. Straßer, Anleitung zur Präparation des Halses und Kopfes, Jena 1906). Durch den Achselraum ziehen Gefäße und Nerven vom Stamm zur Schulter und zum Arm.

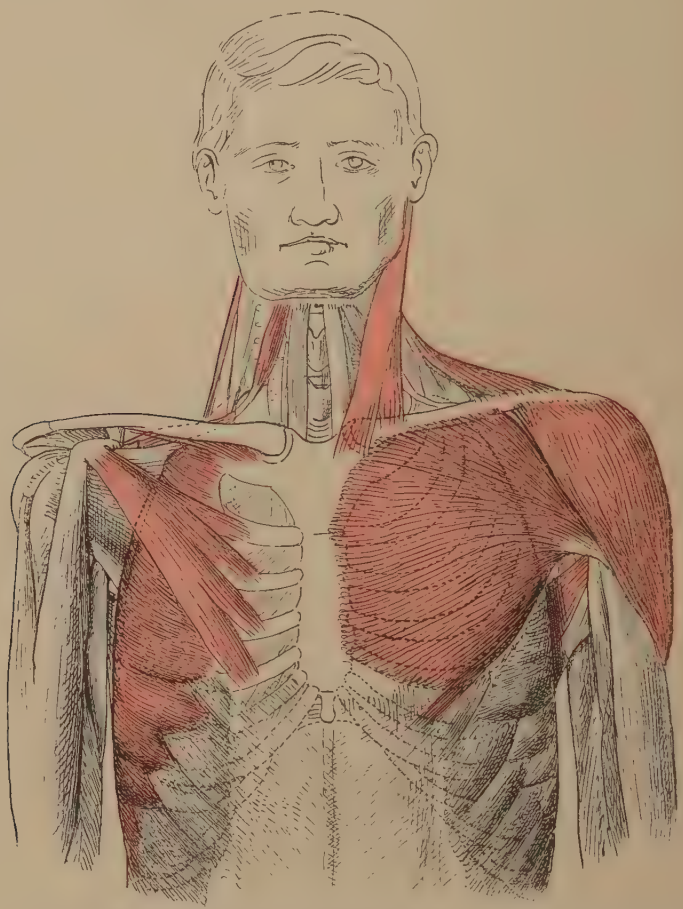


Fig. 11. Rechts die Stamm-Schultergürtelmuskeln, links die Mantelmuskeln von vorn.

Die Skelettstücke und Muskeln, welche den Achselraum von vorn außen und von hinten außen begrenzen, bilden ein mächtiges, mehr oder weniger zweiflügeliges Schultermassiv, aus dem wie aus einem Sockel der freie Arm hervorgeht.

B. Das Schultergelenk.

Im Schultergelenk artikuliert der Humerus mit der lateroventralen Ecke (Gelenkwinkel) der Hauptplatte des Schulterblattes. Letzteres bildet die Pfanne, der Humerus den kugligen Gelenkkopf. Das Gelenk ist annäherungsweise ein „Kugelgelenk" und erlaubt von einer mittleren Stellung aus Drehungen um beliebig gerichtete Achsen, welche durch die Mitte des Humeruskopfes gehen.

α) Die Gelenkkörper und Gelenkflächen.

Die Gelenkflächen sind annähernd Kugelflächen von fast übereinstimmender Krümmung. Unter der Voraussetzung breiter Berührung ist Drehgleiten zwischen Kopf und Pfanne (der Pfanne am Kopf) möglich, wobei der Mittelpunkt des Humeruskopfes annähernd an derselben Stelle bleibt. Die Gelenkfläche des Kopfes ist erheblich größer als diejenige der Pfanne, wie von vornherein zu erwarten ist. Das Drehgleiten der Pfanne am Kopf kann von einer mittleren Stellung aus nach verschiedenen Seiten hin in erheblichem Umfang stattfinden, ohne daß die Pfanne den Bereich der Kopfgelenkfläche überschreitet.

1. Die Gelenkfläche des Humerus.

Sie liegt für das Auge genau endständig zu dem abgebogenen proximalen Humerusende, so daß die Normale auf ihrer Mitte, welche durch den Mittelpunkt des Kopfes geht, mit der Mittellinie des abgebogenen Endes (Collum anatomicum) zusammenfällt. Diese Linie (Halsachse) bildet mit der axialen Längslinie des Humerusmittelstückes durchschnittlich einen Abbiegungswinkel von nahezu 45—50°. Eine Ebene, welche am besten unter allen mit dem Rande der Humerusgelenkfläche zusammenfällt, bildet mit der Querebene des Mittelstückes ebenfalls den Winkel von 45—50°. Etwas kleiner ist der Winkel, den die Humerushalsachse mit der Längsachse des ganzen Humerus und den die Randebene der Gelenkfläche mit der Ebene bildet, die zur Längsachse des ganzen Armes senkrecht steht (Figg. 12).

Die Ebene durch die Humeruslängsachse und die Humerushalsachse, welche der oberen Abbiegung des Humerus entspricht, bezeichnen wir als Hauptebene des Humerus. Sie fällt nicht mit der „Bestimmungsebene" zusammen, welche durch die beiden Epikondylen und die Humeruslängsachse gelegt ist, sondern weicht aus derselben außen nach vorn ab (um einen wechselnden Betrag von 0—10—20° und mehr). Die genaueren Verhältnisse dieser Abweichung sollen weiter unten besprochen werden. Vorläufig ist für uns wichtig, daß in der willkürlich festgesetzten sogenannten anatomischen Ausgangsstellung des Humerus (Ruhehaltung bei geradem symmetrischem Stand, Ellbogengelenk unter dem Schultergelenk; Ellenbeuge nach vorn gewendet) die Bestimmungsebene des Humerus frontal steht. Die Humerusgelenkfläche ist dann nach innen oben und etwas nach hinten

gerichtet. Das Tuberculum minus liegt am oberen Humerusende vorn das Tuberculum majus außen (Figg. 5 und 13).

Oben und vorn ist der Rand der Gelenkfläche vom Hals aus etwa schärfer unterschnitten; es findet sich hier zwischen ihm und der Tuber

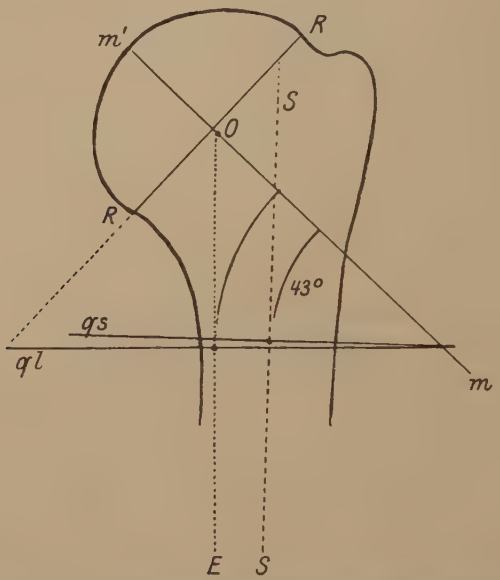


Fig. 12. Schnitt in der Hauptebene des proximalen Endes des Humerus. *m' o* Mittellinie des Humeruskopfes und des Collum anatomicum. *RR* Randebene de Gelenkfläche, *SS* Mittellinie des Humerusschaftes, *OE* Mittellinie (Längsachse des ganzen Humerus, *q s* Ebene quer zum Humerusschaft, *q l* Ebene quer zur Längsachse des Humerus.

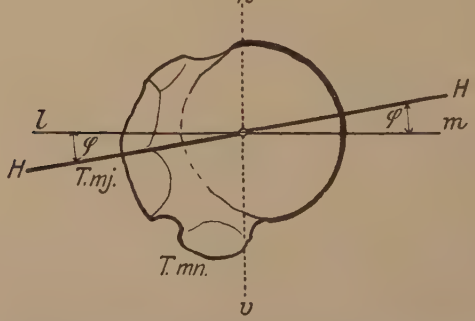


Fig. 13. Rechter Humeruskopf, von oben in der Richtung der Längsachse g sehen; *h* hinten, *v* vorn. *T. mj.* Tuberculum majus, *T. mn.* Tuberculum minu *H H* Hauptebene des Humerus, *l m* Bestimmungsebene, *φ* Komplement des Dive genzwinkels der Ebenen der Endabbiegungen. (S. S. 334.)

pula eine seichte Einsenkung. Der Krümmungshalbmesser der Gelenkfläche des Humeruskopfes wird auf 25—27 mm angegeben. Ihre Ausdehnung ist im größten Profile, von oben nach unten, etwas größer als von vorn nach hinten. Es fehlt ringsherum ein Streifen von durchschnittlich 20° Breite zur Halbkugelfläche; die ganze Gelenkfläche macht also nur zwischen $^1/_3$ und $^2/_5$ einer Kugelfläche aus. Erst eine genauere Untersuchung zeigt, daß die Krümmung nicht genau derjenigen einer Kugelfläche entspricht.

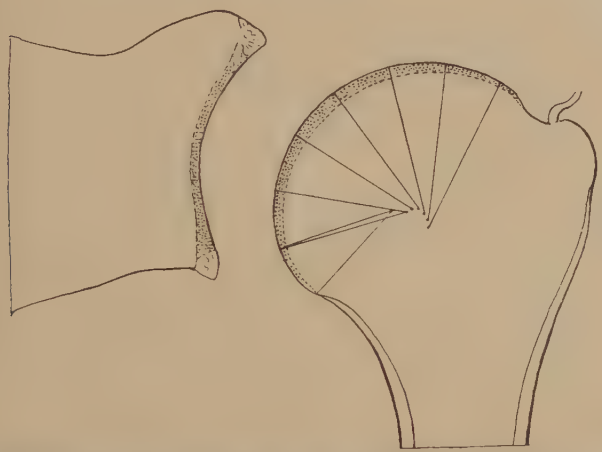


Fig. 14. Hauptprofile der Gelenkflächen des Schultergelenkes, den Hauptebenen von Scapula und Humerus entsprechend, nach Ludkewitsch.

Nach den unter Bugnion von Frl. Ludkewitsch angestellten Messungen (1900) bleibt die Krümmung von der Mitte aus nach vorn und hinten ziemlich unverändert und nimmt erst an den Rändern etwas zu. Es beträgt der Krümmungsradius in einem solchen von vorn nach hinten gehenden mittleren Profile 22 und 20 mm. Dagegen zeigt sich im größten Profile von oben nach unten eine ziemlich gleichmäßige Zunahme der Krümmung, so daß sich die Gelenkfläche von oben nach unten in ähnlicher Weise, nur viel unmerklicher spiralig einrollt, wie solches bei den tibialen Gelenkflächen des Femur der Fall ist (s. Fig. d. Lb. 3. Bd. S. 338). Es vermindert sich dabei der Krümmungsradius von 28 bis zu 20 mm.

Die Mittelpunkte der Krümmung des Vertikal- oder Längsprofils liegen in einer leicht spiraligen Evolute.

Dieses Verhalten ist bemerkenswert, weil die Einrollung der Gelenkfläche nach der Achselbeuge hin bei den vierfüssigen Tieren ebenfalls, und zwar in viel stärkerem Grade vorhanden ist. So verkleinert sich beispielsweise nach den Messungen von Ludkewitsch der Krümmungsradius im genannten Profil (der vertikalen Mittelebene des Gelenkkopfes) von

50 bis auf 21,5 mm beim Pferd,
40 „ „ 19 „ „ Tiger usw.

Mitunter zeigt sich auch von innen nach außen im Horizontalprofil (größtes Profil in einer Querebene des Humerus) eine deutliche Einrollung. In alle dem bestätigt sich das auch bei anderen Gelenken mit spiraligen Hauptprofilen (Kniegelenk) anscheinend gültige Gesetz, daß die flachere Krümmung demjenigen Teil der Kopfgelenkfläche entspricht, welche unter stärkerem (länger andauerndem)

Drucke gegen die Pfanne gedrängt wird. Beim Schultergelenk ist der Druck gegen die Pfanne wohl durchschnittlich am größten bei kranialwärts gestelltem Humerus.

Der Knorpelüberzug des Kopfes hat, nach H. Werner, in der Mitte eine Dicke von 17 mm; nach den Rändern der Gelenkfläche hin wird er dünner. Ähnliches findet sich ja regelmäßig bei allen konvexen Gelenkflächen.

2. Die Gelenkpfanne.

Die Gelenkfläche der vom Schulterblatt gebildeten Pfanne ist ziemlich genau und gleichmäßig sphärisch gekrümmt. Sie besitzt einen Krümmungsradius von 26—27 mm (im überknorpelten Hauptteile), so daß der obere, flachere Teil der Gelenkfläche des Kopfes genau auf sie paßt, der untere Teil aber höchstens dann mit ihr vollkommen breite Berührung gewinnt, wenn er mit Gewalt in den Gelenkknorpel hineingepreßt wird.

Zum federnden Anschluß an den Gelenkknorpel dient eine faserknorplige Lippe, welche sich sowohl an den Rand des Gelenkknorpels als an den Rand der knöchernen Pfanne anschließt (Limbus glenoidalis s. fibrocartilagineus s. fibrosus). Diese Lippe verschmälert sich nach dem äußeren Umfange hin und stellt einen Keil dar, dessen Schneide am oberen Umfange der Pfanne frei in die Gelenkhöhle vorragt, nach unten zu aber immer genauer dem Ursprunge der Gelenkkapsel entspricht und in diese sich fortsetzt. Der Keil besteht wesentlich aus konzentrisch verlaufenden Fasern. Oben gehen dieselben teilweise, von vorn und hinten her in zwei Schenkeln vom Pfannenrande abbiegend, in die Sehne des langen Kopfes des M. biceps über. Indem der Ursprung der Gelenkkapsel oben peripher vom Limbus gelegen ist, kommt auch der Anfang der langen Bicepssehne am Tuberculum supraglenoideum in das Innere der Gelenkhöhle zu liegen. Durch welche äußeren Einwirkungen die Abhebung der Kapsel und des Kapselansatzes von der Bicepssehne bedingt sind, soll später besprochen werden.

Man findet öfters am oberen Umfange der Pfanne den Limbus durch eine Furche vom Gelenkknorpel mehr oder weniger tief abgespalten.

Die Pfanne hat auch mit Einschluß des vom Limbus gebildeten Randteils eine viel geringere Ausdehnung als die Gelenkfläche des Kopfes; ihr längerer Durchmesser liegt in der Hauptebene des Schulterblattes. Sie ist oblong, aber nach oben etwas zugespitzt und hat an ihrem vorderen Umfang über der Mitte eine flache Einziehung des Randes. Ihr größter Durchmesser beträgt $3^1/_2$—4 cm (75^0 Bogenwert), während der Bogen des Humeruskopfes, der seiner vertikalen Mittelebene entspricht, nach Leßhaft eine Länge von ca. $6^1/_2$—7 cm (6,3—7 cm nach R. Fick, 7—8 cm nach Ludkewitsch) und einen Bogenwert von $153{,}3^0$ aufweist. Dies ergibt eine Differenz von 78,3 Winkelgraden oder von ca. 4 cm absoluter Bogenlänge. Welchen Wert eine Genauigkeit bis zu Dezimalen von Bogengraden bei solchen Angaben hat, ist wohl Jedem klar.

Der größte, quer über die Mitte von vorn nach hinten gehende Krümmungsbogen der Pfanne hat eine Länge von $2^1/_2$—3 cm oder von 50^0, während das größte, über die Mitte der Gelenkfläche des Humerus-

kopfes von vorn nach hinten gehende, mit einer Längsebene des Humeruskopfes zusammenfallende Profil einen Bogenwert von 151° und eine absolute Länge von 5,5—6,3 cm nach R. Fick (von 6—7 cm nach Ludkewitsch) besitzt. Die Differenz zwischen Kopf und Pfanne beträgt hier ca. 100° oder 3 cm.

3. Der Charakter des Gelenkes.

Die mögliche Drehung des Humerus in der Hauptebene des Schulterblattes von der Mittelstellung aus würde demnach nach oben und unten je ca. 40°, im ganzen also ca. 80° betragen, diejenige nach vorn und nach hinten je 50° (im ganzen 100°), ohne daß die Pfanne dabei den Rand der Gelenkfläche des Kopfes überschreitet. Berücksichtigt man aber, daß eine solche Überschreitung namentlich unten ohne irgendwelches Hindernis in etwelchem Umfang geschehen kann, und daß namentlich bei der Annäherung des Armes gegen die Seite des Brustkorbes und gegen den axialen Rand des Schulterblattes noch etwas Rollung hinzukommen kann, so versteht man, daß am Bänderpräparat beide Drehungen in noch etwas größerem Umfange möglich sind.

Würde man sich die Gelenkfläche des Kopfes soweit nach unten fortgesetzt denken, als der Umfang des Kopfes in die Pfanne eintritt, so käme die Mitte des Hauptprofils der Gelenkfläche tiefer zu stehen; würde die Humerushalsachse durch diesen neuen Punkt gelegt, so würde sie mit der Mittellinie des Humerus einen noch größeren Winkel bilden als 50°; vielleicht einen solchen von 60°; die wahre Mittelstellung des Kopfes in der Pfanne wäre dann gegeben, wenn diese neue Humerushalsachse mit der Normalen der Pfannenmitte zusammenfällt. (Weiteres hierüber S. 28.)

Trotz aller der kleinen Abweichungen von der Gestalt der Kugelfläche, welche am Kopf und an der Pfanne zu beobachten sind, kann man doch für die allermeisten Fragen der Gelenk- und Muskelmechanik, welche das Schultergelenk betreffen, das letztere ruhig, wie eingangs gesagt wurde, als ein gut schließendes Kugelgelenk betrachten, das von einer Mittelstellung aus Drehungen erlaubt um beliebige Achsen, welche durch den Mittelpunkt des Humeruskopfes gehen.

β) Definition der Stellungen und Bewegungen im Schultergelenk und des geometrischen Faktors der Drehungseinflüsse (Kraftmomente der Muskeln).

1. Definition der Stellung des Humerus im Schultergelenk.

Unter der Voraussetzung, daß die Stellung des Schulterblattes gegenüber dem Rumpf bekannt ist, muß die Stellung des Humerus sowohl mit Bezug auf den Rumpf als mit Bezug auf das Schulterblatt

bestimmt sein, wenn die Lage dreier nicht in einer geraden Linie liegender Punkte des Humerus zum Rumpf oder zum Schulterblatt bekannt ist.

1. Ein Punkt ist in seiner Lage von vornherein gegeben: der Mittelpunkt des Humeruskopfes.

2. Als zweiten Punkt wählt man den „Ellbogenpunkt", d. h. die Mitte des Ellbogengelenkendes (der Verbindungslinie beider Epikondylen). Damit ist bereits die Lage und Richtung der Längslinie des Humerus gegeben.

3. Als dritten Punkt kann man einen Punkt der Mittellinie des rechtwinklig zum Oberarm gebeugt gedachten Vorderarms (der Ulna) wählen, womit die Lage und Richtung dieser Längslinie gegeben ist.

Will man vom Vorderarm absehen, so dient zur Bestimmung der Lage des Humerus neben der Kenntnis der Lage des Humerusmittelpunktes und der Richtung (und Länge) der Humerusmittellinie am besten die Feststellung der Richtung der Epikondylenlinie. Die Ebene durch die Längslinie des Humerus und die Epikondylenlinie nennen wir Bestimmungsebene des Humerus.

Die Lage und Richtung der genannten zwei Geraden (Hauptlinie und Epikondylenlinie) gegenüber dem Rumpf oder dem Schulterblatt kann bestimmt werden

a) durch Angabe der Winkel, welche sie mit den drei Hauptrichtungen des Rumpfes (oder des Schulterblattes) bilden, oder

b) nach einer der beiden von A. Fick (Medizinische Physik, S. 77 — dieses Lehrb. 3. Bd. S. 27) angegebenen Methoden, oder endlich

c) nach den von mir für die Definition der Stellungen des Femur im Hüftgelenk empfohlenen Prinzipien, durch Bestimmung der Lage des Humerusendes in einem Gradnetz der von ihm beschriebenen Exkursionskugelfläche, welche um den Humerukopf als Mittelpunkt herumgelegt ist. Der letztgenannten Bestimmungsweise ist durchaus der Vorzug zu geben.

Die Stellung des Humerus zum Stamm hängt von zwei Faktoren ab, seiner Stellung zur Scapula und der Stellung der Scapula zum Stamm.

Für die Verhältnisse des Schultergelenkes und aller Muskeln, welche zwischen Schulterblatt und Arm verlaufen, kommt einzig die Stellung des Humerus zur Scapula in Betracht. Diese muß in erster Linie bestimmt werden. Das Gradnetz der Exkursionskugelfläche muß demnach zur Scapula fest angenommen werden.

Die Längslinie des Humerus schneidet bei einer bestimmten Stellung des letzteren die Exkursionskugelfläche in einem bestimmten Punkt, (Ellbogenpunkt), dessen Lage man nach Meridian und Parallelkreis genau angeben und auch kartographisch darstellen kann. Letzteres gilt auch für die Richtung der quer zur Längslinie des Humerus verlaufenden Längslinie des rechtwinklig gebeugten Vorderarms oder für die Richtung der Epiphysenquerlinie; beide Querlinien verlaufen tangential zur Exkursionskugelfläche und können in ihrer Richtung bestimmt werden durch den Winkel, den sie mit dem Meridian der Humeruslängslinie bilden.

Auf die gleiche Weise können eine ganze Reihe von aufeinanderfolgenden Stellungen bestimmt und kartographisch registriert werden.

Die Brauchbarkeit dieser Methode steht außer Frage. Es wird sich also nur darum handeln, die beiden Pole des Gradnetzes zweckmäßig zu wählen, den 0-Meridian zu bestimmen und passende Namen für die Hauptrichtungen der Exkursion auf der Kugelfläche einzuführen.

Der erste Gedanke geht dahin, als Polachse die Verbindungslinie der beiden Schultergelenke zu wählen, analog dem Verfahren beim Hüftgelenk. Dies ist aber aus zwei Gründen nicht zulässig. Erstlich hätte eine solche Achse je nach der Stellung des Schulterblattes eine verschiedene Richtung zu diesem Skelettstück und würde nicht bloß von

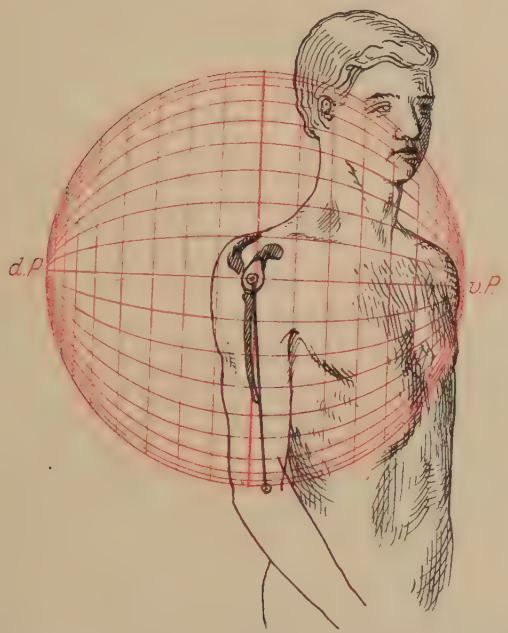


Fig. 15. Exkursionskugelfläche des Schultergelenkes.

den Verhältnissen im Schultergelenk abhängig sein. Der Anatom und Chirurg aber haben doch vor allem ein Interesse daran, die Stellung des Humerus dem Schulterblatt gegenüber zu kennen. Zweitens sollten die Pole der Gradeinteilung so gewählt werden, daß sie nicht in das Exkursionsgebiet des Humerus fallen. Letzteres wird durch die Fortsetzung der Ebene des Schulterblattes ungefähr halbiert und hat in dieser seine größte Ausdehnung. Danach muß die Polachse senkrecht zur Ebene des Schulterblattes genommen werden.

Der eine Pol ist dann als der ventrale, der andere als der dorsale Pol zu bezeichnen. Der Äquator fällt dabei mit der Hauptebene des Schulterblattes zusammen, die Parallelkreise liegen teils in einer dorsalen, teils in einer ventralen Hemisphäre; sie sind als dorsale und ventrale

zu unterscheiden und vom Äquator aus zu numerieren. Schwerer fällt der Entscheid darüber, welchen Meridian man als 0-Meridian wählen soll. Es scheint uns zweckmäßig zu sein, daß er zur Scapula feststeht und nicht im Bereich des Exkursionsgebietes des Humerus liegt. Wir möchten die ihm entsprechende Halbkreisebene durch die Mittel- oder Hauptlinie der Scapula legen, oder genauer gesagt so, daß er die Mitte der Basis scapulae trifft.

Bei vertikal gestellter Basis scapulae und vertikal herabhängendem Arm befindet sich dann der Humerus ca. im Meridian 60. Die Stellungen des Humerus, bei welchen seine Längslinie ventral von der Skapularebene liegt, sind ventrale, diejenigen, bei welcher sie dorsal liegt, sind dorsale Stellungen; die Stellungen in der Skapularebene heißen äquatoriale Stellungen.

Wie aber sollen wir die Stellungen in weiter vom Außenrand des Schulterblattes entfernten, weiter außen und höher gelegenen Meridianen von denjenigen unterscheiden, welche näher am Außenrand und an der Mittellinie des Schulterblattes gelegen sind? Bedenkt man, daß sowohl der obere Rand des Schulterblattes, als die Basis spinae scapulae, als endlich der laterale Rand wahre Längslinien der Scapula darstellen, denen entlang die tiefen Schulterblattmuskeln zum Gelenk laufen, so kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die wahre Streckstellung des Humerus gegenüber der Scapula diejenige ist, bei welcher seine Längslinie in der Fortsetzung der mittleren Längslinie des Schulterblattes gelegen ist. Diese Stellung erreicht der Humerus nie vollständig, immer ist er nach dem lateralen Rand der Scapula hin abgelenkt. So haben wir am Schultergelenk eine einzige ausgeprägte Beugeseite, welche der Achselhöhle und dem lateralen Rand der Scapula entspricht, während die gegenüberliegende, dem oberen Rande der Hauptplatte des Schulterblattes entsprechende Seite die Streckseite darstellt. (Vgl. hiezu die Ausführungen auf S. 32.)

Da die wahre oder absolute Streckstellung nie ganz erreicht oder überschritten wird, so wird man nur zwischen mehr oder weniger gestreckten oder mehr oder weniger gebeugten Stellungen unterscheiden können; eine scharfe Grenze zwischen Beuge- und Streckstellungen kann nicht aufgestellt werden. Dagegen sind die ventralen und die dorsalen Stellungen scharf durch die Äquatorialebene getrennt.

Ebenso bildet die jeweilige Meridianebene eine scharfe Grenze zwischen all denjenigen möglichen Stellungen, bei welchen der rechtwinklig gebeugte Vorderarm vom Ellbogen aus gegenüber der Meridianebene nach der Vorderseite resp. Oberseite, und denjenigen, bei welchen er nach unten abweicht. Erstere Stellungen sind Auswärtsrotationsstellungen, letztere Einwärtsrotationsstellungen. Damit ist natürlich nicht gesagt, daß von der Äquatorialebene aus ventrale und dorsale Ablenkung des Humerus und von der Meridianebene aus aus- oder einwärtsrotatorische Ablenkungen des antibrachialen Querzeigers zum Humerus stets in gleichem Umfang möglich sind (s. u. Mittelstellung).

Am Lebenden bestimmt man die Flexions-Extensionsstellung des Oberarms am besten in der Weise, daß man von hinten und von außen her möglichst senkrecht zur Hauptebene des Schulterblattes (sie geht durch die Basis scapulae und etwas vor der Mitte der Schulterwölbung vorbei) in der Richtung der Polachse nach der Gegend des Humeruskopfes hin sieht. Der Winkel, den die Mittellinie des Oberarms mit der Mittellinie des Schulterblattes zu machen scheint, ist in Wirklichkeit der Winkel, den die Projektion jener Linie auf die Hauptebene des Schulterblattes mit der Mittellinie des Schulterblattes bildet: er kann als Maß der Streckung, seine Ergänzung zu 180° kann als Maß der Beugung gelten.

Der kleinste Winkel, den die Längslinie des Oberarmes mit der Hauptebene des Schulterblattes bildet (ihr Neigungswinkel), ist der dorsale resp. ventrale Ablenkungswinkel. Man beurteilt ihn, indem man in der Ebene des Schulterblattes in derjenigen Linie auf das Schultergelenk visiert, welches senkrecht zum Humerus steht. Blickt man aber in der Längsrichtung des Oberarmes gegen das Schultergelenk, so kann man den Winkel beurteilen, welchen der rechtwinklig gebeugte Vorderarm mit der Meridianebene des Ellbogenpunktes bildet, und so den Betrag der Einwärts- oder Auswärtsrotation feststellen.

Es wird möglich sein, vermittels einer bügelartigen Klammer, die an die Schulter angelegt wird, ein Stäbchen so einzustellen, daß es ungefähr der Polachse entspricht; dadurch muß die Bestimmung der Stellung des Humerus zum Schulterblatt und vor allem die Bestimmung der Meridianebene wesentlich erleichtert werden.

2. Der Bewegungsumfang im Schultergelenk.

Die globo- und kartographische Darstellung eignet sich vor allem zur Registrierung der möglichen Grenzlagen der Humeruslängsachse und der damit zwangsmäßig verbundenen Längsrotationsstellung, ferner zur Aufzeichnung der extremen Ein- und Auswärtsrotationsstellungen bei mittleren Lagen der Humeruslängsachse. Durch Interpolation erhalten wir die Grenzlinie, welche das Exkursionsfeld des Ellbogenpunktes auf der Exkursionskugel begrenzt. In Fig. 16 ist in ein Gradnetz der Exkursionskugel die genannte Grenzlinie so eingezeichnet, wie ich sie (1883) an einem anscheinend normalen rechten Schultergelenk eines 51jährigen Mannes gefunden habe (ausgezogene Kurve); ferner sind für eine Anzahl von Zwischenstellungen die beiden Extremlagen, welche die innere Hälfte der Epikondylenlinie einnehmen kann, vermerkt. Während in der Publikation von 1883 die Polachse des Gradnetzes vertikal genommen war, verläuft sie hier senkrecht zur Hauptebene des Schulterblattes. Die Ebene des 0-Meridians geht durch die Mitte der Basis sacpulae. Ferner ist von den beiden Exkursionsgrenzlinien, welche Braune und Fischer für ein rechtes und linkes Schultergelenk bestimmt haben, diejenige des rechten Gelenkes in das gleiche Gradnetz eingezeichnet. Die beiden Kurven stimmen sehr gut mit-

einander überein, nur ist das Verkehrsgebiet an dem Braune-Fischerschen Präparat im ganzen etwas nach oben verschoben gegenüber seiner Lage an meinem Präparat. Dieser Unterschied beruht vielleicht nur auf einer verschiedenen Einstellung des Schulterblattes bei der Messung.

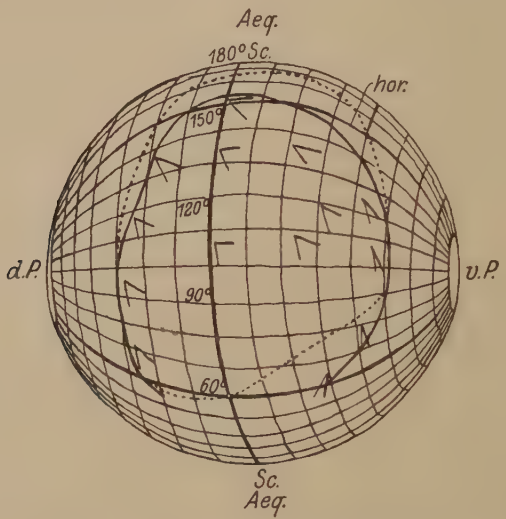
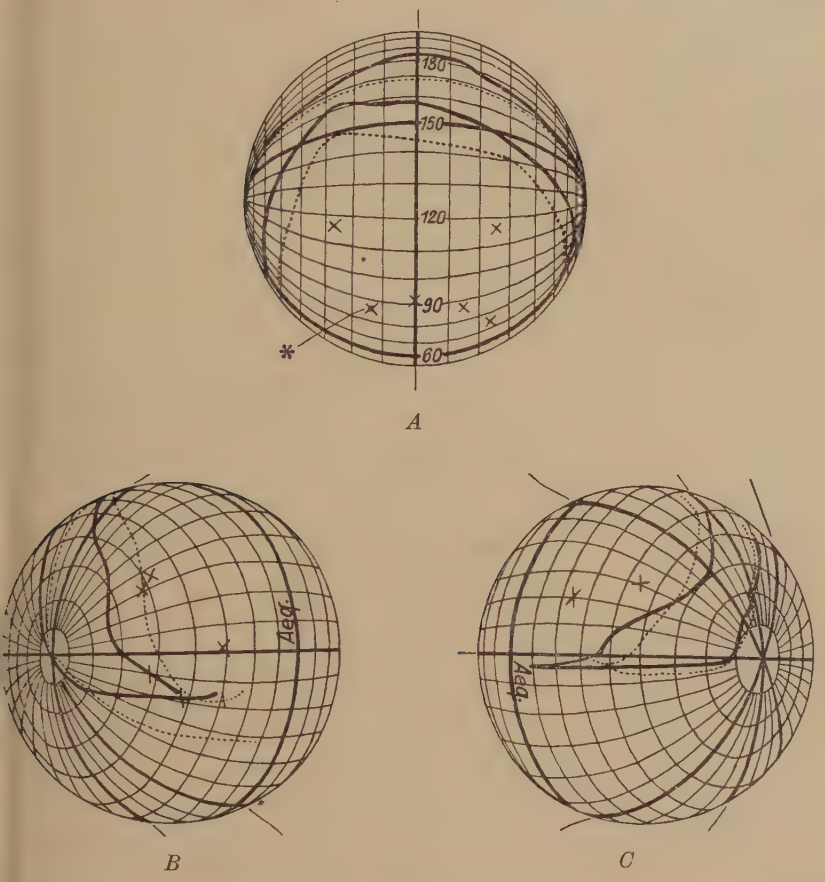


Fig. 16. Exkursionskugel des rechten Schultergelenkes. Gradnetz mit „ventralem" und „dorsalem" Pol. Ausgezogene Kurve: Grenze des Exkursionsgebietes des Ellbogenpunktes nach Straßer; punktierte Kurve: Grenze nach Braune-Fischer. *Aeq.* Äquator (Skapularebene), *d. P.* dorsaler Pol, *v. P.* ventraler Pol. Der horizontale und der vertikale Meridian sind stärker ausgezogen. Die Ebene des 0-Meridians geht durch die Mitte der Basis scapulae.

Auffällig abweichend sind die Befunde von Shiino. An dem von ihm untersuchten rechten und linken Schultergelenk war die Exkusionsmöglichkeit nach der ventralen und dorsalen Seite viel weiter ausgedehnt, an der Dorsalseite bis zum dorsalen Pol unseres Gradnetzes, an der ventralen Seite bis nahe an den ventralen Pol. (Figg. 17, A, B und C).

K. Shiino hat unter R. Fick in einer sehr fleißigen Arbeit die möglichen Bewegungen im Schulterglenk, die drehenden Einflüsse der Schultergelenkmuskeln in verschiedenen Gelenkstellungen und ihr Arbeitsvermögen untersucht, und zwar an einem rechten und linken Schultergelenk desselben Individuums. Die Schulter war mit dem Thorax im Zusammenhang gelassen, so daß für eine bestimmte Stellung beider zueinander (Basis scapulae vertikal, Hauptebene des Schulterblattes in Winkel von 30° zur Frontalebene des Thorax, Thorax vertikal, Clavicula horizontal) die vom Stamm zum Humerus gehenden Muskeln mitberücksichtigt werden konnten. Der Bewegungsumfang in den Schultergelenken wurde ferner nach sukzessiver Durchschneidung der verschiedenen Muskeln jeweils wieder gemessen. Die Verhältnisse der Längsrotation in den Extremlagen der Humerus mittellinie und in den Zwischenstellungen wurden genau untersucht. Bezüglich der Details muß auf die Abhandlung selbst verwiesen werden.

Shiino hat die Polachse seines Gradnetzes vertikal genommen; den 0-Meridian hat er mit der Hauptebene des Schulterblattes zusammenfallen lassen. Der Äquator seines Gradnetzes entspricht unserem Meridian 150. Wir haben die Hauptbefunde von Shiino über die Extremstellungen des Humerus (seine Figg. 8—10) in untenstehender Abbildung reproduziert, dabei aber unser eigenes Gradnetz zugrunde gelegt. Dargestellt ist die Exkursionskugel des rechten Schulter-



A B C

Fig. 17, A, B, C. Grenzen des Exkursionsgebietes des Ellbogenpunktes im Schultergelenk nach Shiino im Gradnetz von Straßer. *A* von außen her in der Richtung der Skapularebene, *B* von unten und der Ventralseite her, *C* von außen und der Dorsalseite her gesehen.

Gelenkes; die ausgezogenen Kurven beziehen sich auf dieses Gelenk; die punktierten Kurven geben die entsprechenden Kurven des linken Gelenkes im Symmetriebild wieder.

Maximale Erhebung des Armes war am Bänderpräparat möglich im 0-Meridian (von Shiino) und in den benachbarten dorsalen und ventralen Meridianen, und zwar bis zu 115° Hebung rechterseits, zu 108° und 107° Hebung linkerseits,

Dies entspricht nach unserem Gradnetz einer Erhebung im Äquator und in den benachbarten Parallelkreisen bis zu 175, resp. bis zu 168 und 167°, also bis nahe an die absolute Streckstellung, welche im Meridian 180 erreicht wäre, der in der Fortsetzung des 0-Meridian liegt. Erheblich geringer fand Shiino die Erhebungsmöglichkeit bei erhaltenen Muskeln und zwar ist sie hier im Äquator selbst geringer als im dorsalen Parallelkreis 20—30°, was von Shiino auf die stärker hemmende Wirkung der Mm. teres major, latissimus dorsi und triceps zurückgeführt wird. Noch im ventralen Meridian 70 war nach Shiino am Bänderpräparat eine Erhebung bis zur Horizontalebene, im ventralen Meridian 90 eine solche bis zu 80° möglich, im dorsalen Meridian 90 aber gerade noch eine Erhebung bis zur Horizontalen (am Bänderpräparat). Nach unserer Bezeichnungsweise entspricht das einer Ventralablenkung 70° im horizontalen Meridian 150 und von 80° im vertikalen Meridian 60, und andererseits einer Dorsalablenkungsmöglichkeit 90° (bis zum dorsalen Pol) in den Meridianen 170 und 60. Die Rückführungsmöglichkeit betrug am Bänderpräparat aus der „Normalstellung" (senkrecht herabhängender Humerus) ca. 10—30°, führte also nach unserer Bezeichnungsweise bis in den Meridian 50—30, in dorsalwärts um 50 oder 60° abgelenkten Stellungen aber noch etwas weiter bis in den Meridian 20.

Den Umfang der Längsrotation fand Shiino am größten (165°) in dem um 40° von der Schulterblattebene nach außen abweichenden Meridian bei 30° Hebung, was etwa unserem Meridian 86 und dem dorsalen Parallelkreis 14 entspricht (Stelle * in Fig. 17, A). Bis nahe an die Grenzen des Verkehrsgebietes war er überall größer als 90°. In den äußersten Grenzlagen der Humeruslängslinie besteht natürlich je eine einzige bestimmte (zwangsmäßige) Längsrotationsstellung, und zwar handelt es sich nach Shiino in den dorsalen und gehobenen Stellungen um zwangsmäßige „Supination", d. h. Auswärtsrotation, in den ventralen und gesenkten Stellungen um zwangsmäßige „Pronation", d. h. Einwärtsrotation gegenüber der Mittelstellung, bei welcher die Epikondylenlinie mit dem vertikalen Meridian (resp. Parallelkreis) zusammenfällt.

Bei nicht durchschnittenen Muskeln an der Leiche wurden alle Exkursionen kleiner gefunden. Daraus darf meiner Meinung nach nicht geschlossen werden, daß die im Bandapparat gestatteten extremen Stellungen am Lebenden niemals erreicht werden. Alle Grade der Hemmung können hier in Betracht kommen, von stärkster Hemmung durch erhöhten beständigen Tonus der Muskeln oder gesteigerter Reflexaktion (z. B. bei Schmerzhaftigkeit) bis zu fast vollständiger Ausschaltung jeder Hemmung, die unter gewissen Umständen und in bestimmten Zusammenhängen infolge von Gewöhnung und Einübung erreicht wird.

3. Die Mittelstellung.

Aus der Kenntnis der Exkursionsgrenzen ergibt sich, was als Mittelstellung zu betrachten ist. Nehmen wir im Äquator eine Exkursionsmöglichkeit an von den Meridianen 35—45—165—175, so liegt die mittlere Radialstellung im Meridian 105 (bei ca. 45° Hebung aus der Ruhestellung nach vorn außen), im Hinblick aber auf die größte Breite des Exkursionsfeldes entspricht sie dem dorsalen Parallelkreis 5—10. In dieser mittleren Radialstellung ist die mittlere Längsrotationsstellung gegeben, wenn der rechtwinklig gebeugte Vorderarm direkt ventralwärts gerichtet ist und mit der Meridianebene zusammenfällt. Der Humerus befindet sich dann in absoluter Mittelstellung. Außerdem gibt es für die abgelenkten Radialstellungen jeweils eine mittlere Längsrotationsstellung. Meine in Fig. 16 repro

ızierten Befunde über die längsrotatorische Exkursion sind in dieser eziehung nicht maßgebend, nur das eine scheint mir auch jetzt beätigt, daß mit zunehmender Extension gegenüber dem Schulterblatt e mittlere Längsrotationsstellung bei immer größerer Auswärtstation gegenüber dem Meridian der Längslinie gegeben ist. Den extremen adialstellungen entsprechen, wie schon erwähnt, bestimmte Zwangstationsstellungen. Immerhin gilt auch für das Schultergelenk wie r das Hüftgelenk, daß sich die mittleren Längsrotationsstellungen im oßen und ganzen wie „Listingsche Stellungen" zueinander verhalten. kann auf die Bemerkungen verwiesen werden, welche wir beim Abhnitt Hüftgelenk (S. 39) über diesen Gegenstand gemacht haben.

Die Mittellinie des Humerushalses und Kopfes macht (nach S. 18) it der Hauptlinie des Humerus einen Winkel von 47°; bei mittlerer ge des letzteren im Meridian 105 steht die Humerushalsachse im eridian 152. Andererseits fällt die auf der Mitte des Pfannenbodens richtete Normale nicht mit der Mittellinie des Schulterblattes zusammen, ndern entspricht besser der Basis der Crista scapulae; ihre Forttzung nach außen entspricht deshalb dem Meridian 167. Bei der soluten Mittelstellung des Humerus fällt also die Mittellinie des Humeshalses und Humeruskopfes annähernd mit der Normalen der Pfannenitte zusammen. Der Humerus müßte noch um etwas (höchstens 0°) gehoben werden, damit solches genau zutrifft. Denken wir uns er die Humerusgelenkfläche soweit ergänzt, als der Umfang des umeruskopfes in die Pfanne eintritt und betrachten wir als Mittelstelng die Stellung, in welcher die Mitte der so ergänzten Gelenkfläche it der Pfannenmitte zusammenfällt, so entspricht schon die Stellung r Humerushauptlinie im Meridian 105 ziemlich genau der Mittellage es Gelenkes.

Charakterisierung der Stellungsänderungen des Humerus im Schultergelenk.

Globographisch und kartographisch läßt sich eine beliebige Begung des Humerus im Schultergelenk in all ihren Phasen genau darellen, und selbst die Änderung der Geschwindigkeit der Bewegung ßt sich, wenn man in gleichen Zeitabschnitten aufeinanderfolgende wischenstellungen markiert, einigermaßen andeuten. Es besteht aber as Bedürfnis, auch mit Worten die Bewegung, welche aus einer ersten kannten Stellung auf irgend einem Wege zu einer zweiten Stellung hrt, zu charakterisieren. Man wird dabei die Bewegung in verschiedene auptkomponenten zerlegen müssen und sich mit Vorteil nach dem r die graphische Darstellung gewählten Gradnetz richten. Am besten erden folgende drei Bewegungen unterschieden: 1. die Bewegung it dem Meridian, 2. die Bewegung parallel dem Meridian und 3. die ängsrotation gegenüber dem Meridian.

Die erste Bewegung ist eigentlich die Bewegung aus einem Meridian den anderen ohne Änderung des Polabstandes und unter Beibehaltung der gleichen ellung bestimmter fester Querachsen des Humerus gegenüber dem jeweiligen eridian in jeder Zwischenstellung. Es handelt sich um eine Drehung um die

Polachse. Man kann sich dieselbe in jedem Augenblick zerlegt denken in eine Drehung um die zum jeweiligen Meridian senkrecht stehende Querachse des Humerus, die von Moment zu Moment ihre Stellung zum Humerus und zur Scapula ändert, und in eine Drehung um die Längsachse des Humerus, welche ihre Stellung nur gegenüber der Scapula ändert. Beide Drehungen stehen in solchem Verhältnis zueinander, daß die resultierende Drehungsachse ihre Stellung sowohl dem Humerus als der Scapula gegenüber beibehält. Man kann sich vorstellen, daß der Humerus mit einer starren Meridianebene um die Polachse sich dreht, wobei stets die gleiche Längsebene mit dieser Meridianebene zusammenfällt, aber Freiheit der Drehung der Längsebene in der Meridianebene (zweite Bewegung) besteht. Der Winkelbetrag der Drehung um die Polachse muß für eine Überführung aus einem ersten Meridian in einen bestimmten zweiten stets derselbe sein, mag die Überführung des Ellbogenpunktes in einem mehr oder weniger vom Äquator entfernten Polarkreis geschehen. Je näher dem Pol aber die Überführung stattfindet, desto größer ist der Anteil, den die Rotation um die Längsachse des Humerus an der Bewegung hat. Wir nennen diesen Anteil die implicite in der Bewegung enthaltene Längsrotation.

Die zweite Bewegung ist die Bewegung gegen den einen oder den anderen Pol parallel dem Meridian der Primärstellung. Ist die Primärstellung eine Polstellung, so kann sie parallel einem bestimmten Meridian direkt nach der Sekundärstellung hin stattfinden. Sonst geschieht sie als Drehung um eine zum jeweiligen Meridian senkrecht stehende Achse. Solange sie rein vor sich geht, ändert die Achse ihre Lage weder gegenüber dem Humerus, noch gegenüber der Scapula; wohl aber ändern dabei die zu ihr senkrecht stehende, zum Humerus festgelegte meridionale Querachse und die Längsachse des Humerus ihre Lage und Richtung gegenüber der Scapula.

Die erste der beiden Bewegungen ist also gleichsam eine Drehung des Humerus mit seinem Meridian um die Polachse, die zweite Bewegung eine Drehung entlang diesem Meridian nach dem einen oder anderen Pol hin. Eine bestimmte Änderung der Meridionalstellung und eine bestimmte Änderung des Polabstandes können zeitlich in verschiedenster Weise kombiniert werden, entweder indem zuerst die ganze eine Bewegung und dann die andere ausgeführt wird, oder indem die beiden Bewegungen in umgekehrter Reihenfolge oder stückweise alternierend, oder endlich indem sie vollkommen gleichzeitig ausgeführt werden. Die Längsachse des Humerus und diejenige Querachse, welche mit dem Meridian zusammenfällt, ändern im allgemeinen ihre Lage zur Scapula sowohl infolge der Bewegung parallel dem Meridian als infolge der Bewegung mit dem Meridian. Die Querachse dagegen, welche zum Meridian senkrecht steht, ändert ihre Lage zur Scapula nur gemäß der Bewegung mit dem Meridian. Die resultierende Verschiebung der drei zum Humerus festen Achsen ist stets dieselbe, in welcher Weise auch die zwei Bewegungen zeitlich kombiniert werden.

Endlich kann noch, als dritte Bewegung vorhanden sein eine Längsrotation des Humerus gegenüber dem Meridian, in oder mit welchem er sich verschiebt. Es ist das derjenige Anteil der Längsrotation, der in einer allfälligen Bewegung mit dem Meridian nicht implicite enthalten ist. Ohne weiteres ist klar, daß es ganz gleichgültig ist, wann diese Bewegung ausgeführt wird, ob vor oder nach der übrigen Bewegung oder irgendwie zwischen eingeschaltet oder gleichzeitig mit den beiden anderen Bewegungen.

Würde man die Polachse des Gradnetzes der Exkursionskugel vertikal wählen, so könnte man die Bewegung nach den Polen hin als Vorführung resp. Hebung und als Senkung resp. Rückführung bezeichnen und falls es sich um eine reine derartige Bewegung handelt, entweder die Meridiannummer, in der sie stattfindet (Meridian der Primärstellung), angeben, oder von einer Hebung in der Skapularebene, in dorsalen und ventralen Meridianen, oder von einer Hebung nach vorn, vorn außen, außen (gegenüber dem Rumpf) sprechen. Die Bewegung aus einem Meridian in den anderen (Bewegung mit dem Meridian um die Pol-

hse) müßte dann als Circumpolarbewegung nach der ventralen ler dorsalen Seite bezeichnet werden, die dritte Bewegung wäre e nicht implicite in der vorigen enthaltene Längsrotation.

Auf den ersten Blick scheint sich diese Art der Unterscheidung r Bewegungen des Oberarmes gut dem beim Laien, beim Künstler, im Turner üblichen Gebrauch anzuschließen. Man spricht da von ebung und Senkung des Armes nach vorn, nach außen usw. Dies t mich seinerzeit auch bewogen (1883), die Polachse vertikal zu nehmen, ie dies nun durch R. Fick und Shiino geschieht. Eine genauere berlegung und bessere Erfahrung zeigt aber, daß diese Wahl der Polhse unzweckmäßig ist, vor allem aus dem schon erwähnten Grund, il bei derselben der eine (untere Pol) in das Exkursionsgebiet des umerus fällt. Für die unteren Lagen des Ellbogenpunktes wird es aber hr schwierig, zwischen Bewegungen parallel den Meridianen, circumlaren Ventral- und Dorsalbewegungen und Längsdrehungen gegenüber m Meridian zu unterscheiden; die circumpolaren Ventral- und Dorsalwegungen enthalten implicite soviel Längsrotation, daß sie von den nicht plizierten Längsrotationen nur schwer unterschieden werden können; e Drehungsachsen der beiden Bewegungsarten fallen beinahe zusammen. ie drei Bewegungsarten stehen nichts weniger als rechtwinklig zunander. Letzteres ist nur da annähernd der Fall, wo das Exkursionsbiet möglichst weit von beiden Polen entfernt, also zwischen denlben liegt.

Letztere Bedingung ist nur erfüllt, wenn die Polachse senkrecht ur Hauptebene des Schulterblattes genommen wird. An dem Präparat n Shiino erstreckte sich allerdings das Exkursionsfeld dorsalerseits nau bis zum dorsalen Pol einer solchen Polachse und nahezu bis an n ventralen Pol; nach den Befunden von Braune-Fischer und von ir bleibt es aber beiderseits erheblich (40 und 50°) von diesen beiden olen entfernt. Am Shiinoschen Präparat war solches mindestens ei noch erhaltenen Muskeln der Fall. Am Lebenden bleiben also jedenlls der ventrale und dorsale Pol weit außerhalb des Exkursionsgebietes es Humerus.

Man wird nun bei dorsoventraler Polachse die Bewegung gegen ie Pole von jeder Stellung aus als Ventral- resp. Dorsalbewegung ezeichnen dürfen, die Drehung mit dem Meridian aber wollen wir als Circumpolarflexion und -extension" bezeichnen. Und zwar ist nter Circumpolarextension die Vor- und Aufwärtsbewegung zu verehen, unter Circumpolarflexion aber die Drehung um die Polachse ach unten und hinten. Es ist klar, daß wir unter Flexion und Extension es Humerus etwas ganz anderes verstehen, als zur Zeit allgemein üblich t. Wir halten aber das Aufgeben der bisherigen Gepflogenheit für urchaus gerechtfertigt und notwendig.

Nach dem Vorgang von A. Fick und von A. E. Fick und E. Weber hat an sich gewöhnt, die Vorführung des Armes um die horizontale, frontale, zum umpf feste Achse als Flexion, die Rückführung als Extension zu bezeichnen, falsch verstandener Analogie zu den Verhältnissen am Hüftgelenk. Auch wenn an die Bewegung des Oberarmes auf den Rumpf bezieht, muß doch offenbar iejenige (sagittale oder annähernd sagittale) Bewegung als Flexion bezeichnet

werden, welche den Winkel zwischen dem Rumpf und der Extremität verkleinert, also umgekehrt wie beim Hüftgelenk die Rückbewegung, während die entgegengesetzte Bewegung, bei welcher dieser Winkel vergrößert wird als Extension aufgefaßt werden muß. Noch mehr leuchtet ein, daß mit Bezug auf die Scapula die Rückführung des Humerus in der Skapularebene gegen den axillaren Rand des Schulterblattes als Flexion, die entgegengesetzte Bewegung als Extension zu bezeichnen ist (Axillarflexion, Axillarextension). Es liegt deshalb nahe, die Bewegung um die gleiche Achse (die Polachse) aus ventral- oder dorsalwärts abgelenkten Stellungen ebenfalls als Flexion und Extension zu bezeichnen. Geschieht die Drehung aus abgelenkten Stellungen nicht circumpolar sondern um die meridionale Querachse des Humerus, so werden wir dafür den Ausdruck Circumzentralflexion-extension gebrauchen, in Übereinstimmung mit der von uns gewählten Bezeichnungsweise für die Stellungen des Humerus.

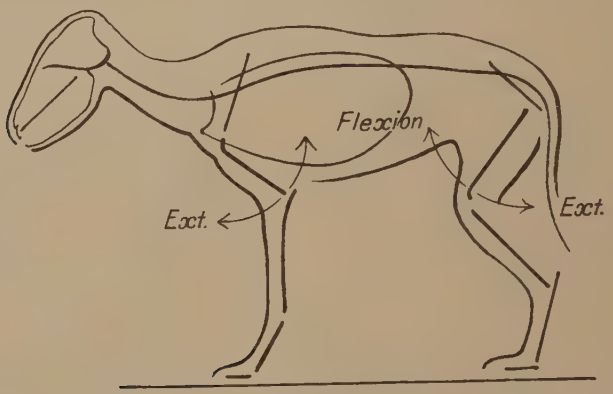


Fig. 18. Flexion und Extension des Humerus und des Femur beim vierfüssigen Säugetier.

Für die Wahl der dorsoventralen Polachse und die daran sich schließende Benennung der Stellungen und Bewegungen spricht auch noch die Rücksicht auf den Vergleich zwischen den Schultergelenken des Menschen und der ihm näher stehenden Säugetiere. Die zur Hauptebene des Schultergelenkes senkrecht stehende Achse läßt sich auch bei den genannten Tieren als Polachse wählen; das Verkehrsgebiet des Humerus liegt stets zwischen ihren Polen. Auch ist ihre Lage klar und eindeutig bestimmt, ebenso diejenige der Mittellinie des Schulterblattes und damit des 0 - Meridians. Ferner gibt es hier alle Übergänge von der fast frontalen Lage des Schulterblattes beim Menschen bis zu einer annähernd sagittalen Lage bei den hochbeinigen Vierfüßlern. Je besser das Schulterblatt sagittal gestellt ist, desto besser fallen die zu den Schulterblättern senkrecht stehenden Polachsen beider Seiten in ihrer Richtung zusammen, und um so ähnlicher werden die Verhältnisse denen des Hüftgelenkes. Die Drehung um diese Achsen bleibt Flexion und Extension. Die Dorsal-Ventralbewegung entlang der Meridianen wird mehr und mehr zur reinen Ab-Adduktion gegenüber der Meridianebene des Körpers.

An die hier vorgeschlagene neue Art der Bezeichnungen wird man sich leicht gewöhnen, wenn einmal festgestellt ist, daß sie den Vorzug verdient. Es wäre wirklich zu wünschen, daß auf diesem Gebiet endlich einmal eine Einigung zustande käme.

5. Definition instantaner und initialer Bewegungen und Beschleunigungen.

Die Forderung einer genau rechtwinkligen Zerlegung nach der ...krecht zueinander stehenden Drehungsebenen und Drehungsachsen ...ß gestellt werden, wenn es sich um die Charakterisierung einer sehr ...inen Bewegung aus einer bestimmten Stellung, oder um die Bestim... ...ng einer initialen oder instantanen Beschleunigung handelt. Eine ...che Zerlegung ist ganz besonders wichtig und notwendig, wenn wir ...s Resultat der gleichzeitigen drehenden Einwirkungen einer Mehrzahl ...schiedener Kräfte (Muskelkräfte, Schwere) für irgend eine Ausgangs... ...r Durchgangsstellung ermitteln sollen. Im allgemeinen ist eine ...artige Einwirkung für jede neue Stellung eine andere und bleiben ...h die Verhältnisse nur für verschwindend kleine Verschiebungen an... ...hernd gleich. Meist besteht durchaus keine Veranlassung, für alle ...llungen genau die gleichen zum Schulterblatt oder zum Arm fest... ...henden Achsen zu wählen. Dagegen ist es sehr vorteilhaft, wenn ... jede Ausgangs- oder Durchgangsstellung die drei Hauptrichtungen ... Drehung in übereinstimmender Weise durch das gewählte Gradnetz ...d die Stellung der Längslinie in demselben bestimmt sind. Dem... ...näß empfiehlt sich hier am meisten folgende Art der Zerlegung der ...rialen Drehungen oder Drehbeschleunigungen, welche genau dem beim ...iftglenk bevorzugten Verfahren entspricht:

1. In die Ein- oder Auswärtsrotation um die Längsachse des ...merus,

2. in die Ventral- oder Dorsalbewegung gegen den dorsalen ...er ventralen Pol der Exkursionskugel, als Drehung im Meridian der ...sgangsstellung um diejenige quer zum Humerus gerichtete Schulter... ...lenkachse, welche mit der Schulterblattebene zusammenfällt,

3. in die reine, circumzentrale Flexions- oder Extensions... ...wegung parallel jener Längsebene des Humerus, welche senkrecht ...f der Meridianebene steht (einem größten Kreis der Exkursionskugel), ...ch derjenigen Querachse des Humerus hin, welche mit der Hauptebene ...s Schulterblattes zusammenfällt; sie erfolgt um die in der Meridian... ...ene gelegene, quer zum Humerus stehende Drehungsachse.

Nicht bloß am Muskelpräparat, sondern auch beim Lebenden läßt ...h für eine bestimmte Stellung der Scapula die Lage der Polachse ...nähernd genau bestimmen und so auch für jede Stellung des Humerus ... Gelenk die Lage des Meridians zur Längslinie. Damit ist dann auch die ...ge der Hauptachsen der Drehung für diese Stellung gegeben.

γ) Die Muskelaktion am Schultergelenk.

1. Bestimmungsmethoden. Das Muskelphantom.

Alles was im allgemeinen über die Bestimmung der Drehungsein... ...sse der Muskeln am Hüftgelenk gesagt worden ist, gilt auch hier für ...s Schultergelenk.

Für irgend eine bestimmte Stellung des Gelenkes und irgend eine beliebige Muskelportion, deren Wirkung auf das Gelenk sich ohne erheblichen Fehler durch eine einzige Kraft mit bestimmter Kraftlinie ersetzen läßt, ergibt sich die Art der Einwirkung aus der Größe der Kraft und der Lage dieser Kraftlinie zu den Hauptachsen der möglichen Drehung im Gelenk. Die nähere Bestimmung des zweiten Faktors ist eine reine topographisch anatomische und geometrische Aufgabe. Für jede neue Stellung ändert sich die Lage des Muskels und seine Wirkungsweise. Es genügt also nicht und ist sozusagen wertlos, für eine einzige Gelenkstellung, etwa die anatomische Grundstellung, die Wirkungsweise der verschiedenen Muskeln anzugeben. Eine Berücksichtigung aller Stellungen ist andererseits in den Lehrbüchern auch bei Verwendung weitläufiger Tabellen nicht durchführbar. Unter solchen Umständen besteht die beste Hilfe, die man dem Studierenden und Arzt mit Rücksicht auf die praktischen Bedürfnisse geben kann, darin, daß man ihn lehrt, für jeden gegebenen Fall die Wirkungsweise der Muskeln *selbst* zu beurteilen.

Nach getroffener Übereinkunft über die Wahl der Drehungsachsen muß für die bestimmte in Betracht kommende Gelenkstellung beim Lebenden die Lage und Richtung der Hauptachsen in einfacher Weise gefunden und anschaulich gemacht werden können, und müssen weiterhin Ursprung, Ansatz und Verlaufsrichtung des interessierenden Muskels bestimmbar sein. Daß hierbei ein *Skelett*, ein *anatomisches Muskelpräparat*, ganz besonders aber ein *Skelettphantom* mit *Rahmenwerk*, oder noch besser ein *Skelettmuskelphantom*, an welchem auch noch die Muskeln durch gespannte Fäden dargestellt sind, wertvolle Hilfsmittel darstellen, liegt auf der Hand. An ihnen kann man die Gelenkstellung des Lebenden nachahmen. Die verständigste Methode zur Beurteilung der Wirkungsweise eines Muskels ist, daß man sich die Spannung desselben in lineärem Maß etwa durch einen Stift darstellt; man bringt diesen Stift in die Zugrichtung des Muskels und projiziert ihn nacheinander auf die drei Hauptebenen der Drehung, die man sich irgendwie aussteckt.

Die Lage der Projektion in der Drehungsebene zu der ihr zugehörigen Drehungsachse orientiert sofort über den Sinn des drehenden Einflusses um diese Achse. Die Entfernung der Projektion von der Achse und die Größe der Projektion geben das Maß für die Größe des drehenden Einflusses für die ganze Muskelspannung oder für die Einheit der Spannung. Auf diese Weise lassen sich die meisten Streitfragen, welche bezüglich der Wirkungsweise der Schultergelenkmuskeln aufgeworfen worden sind, ohne Schwierigkeit lösen, so die Frage nach der Möglichkeit der Mitwirkung der verschiedenen Portionen des Pectoralis major, des Deltoides, des Subscapularis, des Infraspinatus bei den verschiedenen Bewegungen des Armes usw. Man wird auf diese Weise z. B. finden, daß die verschiedenen Teile der breiten Muskeln des Schultergelenkes sich durchaus nicht immer übereinstimmend bei einer bestimmten Bewegung verlängern oder verkürzern, und daß z. B. für die Extension des Armes in der Ebene des Schulterblattes in der Grundstellung von

ltoides nur die akromiale und klavikulare mittlere Portion nützlich ken können, während mit zunehmender Hebung successive auch iter hinten gelegene Teile mitzuwirken imstande sind. Die Beobach- g am Lebenden aber zeigt, daß bei möglichst gut eingeübten Be- gungen wesentlich nur diejenigen Muskeln und Muskelportionen be- ligt sind, welche die Bewegung durch positive Arbeitsleistung fördern.

Schwierigkeit bereiten nur diejenige Fälle, in welchen die Muskeln ht geradlinig zwischen Ursprung und Ansatz verlaufen. Hier ist für Zugrichtung jeweils das letzte freie, dem Humerus zunächst gelegene ück maßgebend.

In unmittelbarer und deshalb besonders anschaulicher Weise kann drehende Einfluß, den die Muskeln bei irgend einer Stellung mit zug auf die Hauptachsen der Drehung pro Krafteinheit ausüben, monstriert werden aus der Verkürzung, welche diese Muskeln bei der- ben kleinen Winkeldrehung (von beispielsweise 10°) um diese Achsen ahren. In dieser Weise haben A. E. Fick und E. Weber die statischen mente der Schultergelenkmuskeln an zwei Präparaten bestimmt, und ar für die anatomische Grundstellung und für eine zweite Stellung, welcher der Humerus um 50 bzw. 60° in der Frontalebene nach außen oben war. Als Achsen wählten sie die Längsachse des Humerus und e sagittale, sowie eine frontale, in beiden Stellungen quer zum Hu- rus stehende Achse. Die gewonnenen Resultate wurden eingehend kutiert. Es entsprechen die von Fick und Weber gewählten Achsen r Drehung am besten den von H. Meyer vorgeschlagenen zum merus festen Achsen. Ihre Angaben lassen sich nicht ohne weiteres f bestimmte Hauptbewegungen unseres „Zerlegungsverfahrens" über- gen. Wir haben deshalb eine Reihe eigener Messungen an einem n uns hergestellten Skelettmuskelphantom angestellt und sie bei den genden Angaben eingehend berücksichtigt.

Die Scapula ist in das Rahmenwerk des Skelettmuskelphantoms so einge- annt, daß die Polachse, um welche sich der Meridianrahmen dreht, die Mitte r Pfannenhöhle trifft und zur Skapularebene senkrecht steht. Der Humerus- pf ist dank besonderen Einrichtungen richtig drehbar, in der Pfanne festge- halten. Die Fortsetzung der Längslinie des Humerus ist durch einen Stift rgestellt, der dem Meridianrahmen angelegt werden kann etc.

Ein solches Phantom leistet erstens sehr gute Dienste, um irgend eine ellung des Humerus nachzuahmen und genauer zu definieren. Zweitens er- chtert es die Aufgabe, für diese Stellung die rechtwinklige Zerlegung der ehenden Einflüsse vorzunehmen. Drittens endlich lassen sich an ihm kleine ich große Drehbewegungen des Humerus um die drei Hauptachsen einer be- mmten Stellung ausführen, und es können die dabei stattfindenden Verkür- ngen und Verlängerungen der verschiedenen Muskeln direkt gemessen werden.

Eine Fehlerquelle, die sich bei solchen Messungen etwa geltend macht, folgende: Die Fäden, welche in gerader Linie vom Ursprung zum Ansatz des uskels verlaufen, haben mitunter einen von der Zugrichtung des Muskels ver- hiedenen Verlauf, insbesondere dann, wenn der Muskel in Wirklichkeit bei der ntraktion durch die unter ihm liegenden Teile stärker emporgewölbt wird. e Verkürzung des Muskelfadens ist dann für eine Drehung, die mehr oder weniger der Ebene der Faserkrümmung geschieht, kleiner als die wirkliche Verkürzung r Muskelfaser bei der gleichen Drehung, indem jener Faden näher am Gelenk gt als die wahre Kraftlinie des Muskels. Umgekehrt ist die Verkürzung des uskelfadens größer als diejenige des korrespondierenden Muskels, wenn der Faden

in jeder Stellung gestreckt zwischen Ursprung und Ansatzpunkt verlaufen und sich vom Gelenk abheben kann, während der Muskel durch Faszien und Retinacula nahe am Gelenk festgehalten und gegen dasselbe eingebogen wird. Mitunter gelingt es, am Phantom durch Anbringung breiter Rollenvorrichtungen die natürlichen Verhältnisse einigermaßen nachzuahmen. Jedenfalls muß man dem erwähnten Umstand auf irgend einer Weise Rechnung tragen. Was die vom Stamm zum Arm laufenden Muskeln (Sternokostalportion des Pectoralis major und Latissimus dorsi) betrifft, so haben wir die zwischen Scapula und Stamm möglichen Stellungsänderungen nicht berücksichtigen können.

Wir begnügen uns im folgenden mit der Besprechung der Ergebnisse unserer Untersuchungen (die übrigens nicht auf minutiöse Genauigkeit Anspruch machen) für eine Reihe aufeinanderfolgender Stellungen des Humerus in der Hauptebene des Schulterblattes, welche annähernd mittlere Stellungen zwischen größter Ventral- und Dorsalablenkung, aber auch zwischen größter Einwärts- und Auswärtsrotation sind und sich durch den Betrag der Skapularextension voneinander unterscheiden. Die Epikondylenlinie fiel in der Ausgangsstellung stets mit der Schulterblattebene zusammen; die Beugeseite des Ellbogens war dem ventralen Pol der Exkursionskugel zugewendet. Es muß ausdrücklich betont werden, daß im folgenden die Bezeichnung der Bewegung durchaus entsprechend den von uns aufgestellten Normen durchgeführt ist. Dies ist besonders bei der „Flexion" und „Extension" wohl zu beachten. Unter Flexion und Extension ist also überall Skapularflexion und Skapularextension verstanden, und zwar natürlich eine circumzentrale Flexion-Extension, senkrecht zu der Ebene des Meridians der Ausgangsstellung.

Wir berücksichtigen dabei besonders a) die Grundstellung (Ruhestellung R. Fick), bei welcher der Humerus dem mittleren Teil der Basis scapulae parallel läuft, b) eine mittlere Extensionsstellung, bei welcher der Humerus in der Hauptebene der Scapula um 50° gehoben, oder nach unserer Bezeichnungsweise extendiert ist. Da an dem verwendeten Präparat die Halsachse mit der Längslinie des Humerus einen Winkel von 50° und bei der Grundstellung mit der Horizontalebene einen Winkel von 40° bildet, ferner bei mittlerer Rotationsstellung annähernd in der Ebene der Scapula gelegen ist, so genügt eine Hebung von 40° aus der Grundstellung, um die Halsachse horizontal (in den Meridian 150) zu stellen, und eine weitere Hebung von 10°, um sie annähernd in die Fortsetzung der Basis der Spina zu bringen. Es handelt sich hier also ziemlich genau um die Mittelstellung des Gelenkes, c) eine extreme Extensionsstellung, bei welcher der Humerus um weitere 50° in der Ebene des Schulterblattes gehoben ist (Längslinie im Meridian 160). Die Extension kann allerdings von dieser Stellung aus in Verbindung mit Ventralablenkung und Auswärtsrotation gewöhnlich noch weiter geführt werden, ebenso wie aus der Grundstellung heraus noch weitere Skapularflexion in Verbindung mit Dorsalbewegung möglich ist, wobei dann der Humerus dem Stamm entlang der hinteren Mittellinie genähert wird.

Die von A. E. Fick und E. Weber berücksichtigte zweite Stellung ist etwas mehr dorsalwärts abgelenkt im Vergleich zu dieser Stellung.

Was wir als Ventral- und Dorsalbewegung aus derselben bezeichnen, entspricht ungefähr der „Flexion“ und „Extension“ jener Autoren. Was wir Extension nennen, kommt ihrer „Seitenhebung“ am nächsten.

2. Tatsächliche Ermittlungen über die Wirkungsweise der Schultergelenkmuskeln.

a) M. subscapularis (obere, mittlere und untere Portion, s. Fig. 7). Alle drei Portionen haben in der Grundstellung ein starkes einwärtsrotierendes Moment. Die oberste Faserportion, indem sie in dieser Stellung von der horizontalen skapularen Querachse der Ventral-Dorsalbewegung nur leicht nach außen absteigt, hat einen kaum nennenswerten Einfluß zur Ventralbewegung; die beiden anderen Portionen, indem sie über dieser Achse zum Humerus deutlicher aufsteigen, wirken zur Dorsalbewegung. Mit der Extension vermindert sich der Einfluß zur Einwärtsrotation, doch bleibt er der unteren Portion bis zur maximalen Extension erhalten. Umgekehrt nimmt bei der Extension das Moment zur Ventralbewegung zu, indem sich ja die betreffende Drehungsachse hinter dem Muskel zu ihm mehr und mehr quer stellt. Auch die obere Portion bekommt einen deutlichen Einfluß zur Ventralbewegung. Die obere Portion hat schon in der Grundstellung extendierende Wirkung, indem sie oberhalb der betreffenden Querachse des Humerus liegt.

Ein stark auswärtsrotierter Arm wird auch von den anderen Portionen in der Extensionsstellung nach einwärts rotiert.

Die mittlere Portion wirkt bis zur mittleren Extensionsstellung flektierend, bei weiterer Extension wandelt sich ihr Einfluß in einen extendierenden um; etwas später macht sich dieselbe Änderung auch bei der unteren Portion bemerkbar, indem auch hier die Kraftlinie von der unteren an die obere Seite der Extensionsachse wandert.

b) Supraspinatus und Infraspinatus (an letzterem eine obere und eine untere Portion), Teres minor (Fig. 6).

Bezüglich der Wirkung zur Extension und Flexion liegen die Verhältnisse beim Supra- und Infraspinatus ähnlich wie bei den drei entsprechenden Portionen des Subscapularis; bezüglich der Wirkung zur Längsrotation und zur Ventral- und Dorsalbewegung sind sie Antagonisten. Der Supraspinatus wirkt schon in der Grundstellung und in allen Extensionsstellungen als starker Extensor.

Die extendierende Wirkung der oberen Portion des Infraspinatus ist in der Grundstellung gering oder = 0, nimmt aber mit der Extension zu. Die untere Portion hat in der Grundstellung einen schwachen Einfluß zur Flexion, verliert diesen Einfluß in mittlerer Extensionsstellung ganz und bekommt bei stärkerer Extension schließlich eine deutlich extendierende Wirkung. Der Teres minor hat in der Grundstellung Einfluß zur Flexion, verliert ihn aber bei stärkerer Extension mehr und mehr.

Supraspinatus, Infraspinatus und Teres sind in der Grundstellung Auswärtsrotatoren; beim Supraspinatus verkehrt sich allerdings bei stärkster Einwärtsrotation die Wirkungsweise in eine einwärtsrotierende.

Mit zunehmender Extension nimmt der Einfluß zur Auswärtsrotation bei allen diesen Muskeln ab, zugunsten der Dorsalbewegung. Der Supraspinatus wirkt in allen Extensionsstellungen, namentlich bei einwärtsrotiertem Arm zur Dorsalbewegung. Der Infraspinatus ist in allen Stellungen Dorsalbeweger und gewinnt in dieser Beziehung an Einfluß mit der Extension des Armes.

c) Pectoralis major (Klavikularportion, Sternokostalportion).

Klavikularportion. Die einwärtsrotierende Wirkung ist wenigstens für mittlere Rotationsstellungen des Armes gering, für den einwärtsrotierten Arm = 0.

Starker Einfluß zur Ventralbewegung in allen Stellungen. In der Grundstellung wirkt die ganze Portion flektierend. In mittlerer Flexions- resp. Extensionsstellung ist für die mittleren Fasern der Portion diese Wirkung = 0; für die vom Akromion weiter entfernten Fasern ist dies etwas später, für die ihm näher gelegenen Fasern etwas früher der Fall. Bei weiterer Extension wird die ganze Klavikularportion zum immer kräftigeren Extensor (Extension = Radialdrehung senkrecht zum Meridian).

Die Sternokostalportion behält die flektierende Wirkung auch bei stärkster Hebung des Armes. Daneben hat sie natürlich eine große Bedeutung für die Ventralbewegung.

(Über die Wirkung dieser Portion zur Vorführung und Senkung der ganzen Schulter s. u. S. 76.)

d) Teres major und Latissimus dorsi.

Starke Einwirkung zur Flexion, größer bei gesenktem Arm. Etwas geringerer Einfluß zur Dorsalbewegung, mit der Flexion ebenfalls zunehmend. Einwärtsrotation bei mittlerer Rotationsstellung und namentlich bei auswärtsrotiertem Arm.

(Über die Wirkung des Latissimus zur Rückführung der Schulter und Querstellung des Schulterblattes s. u. S. 124 und 125.)

Bei der Extension des Armes verschiebt sich in der oberen Mantelmuskulatur die Grenze zwischen den Fasern, welche extendierend und denen, welche flektierend wirken können, und zwar rückt sie vom vorderen Rand des Deltoides und vom hinteren Rand seiner akromialen Portion in die Klavikularportion des Pectoralis major und die hintere Portion des Deltoides hinein, um schließlich bei stärkster Extension die medialen unteren Ränder dieser Portionen zu erreichen. Die umgekehrte Wanderung der Grenze findet statt bei der Flexion. (Ähnlich wandert eine solche Grenze am Subscapularis und Infraspinatus bei der Extension von der Mitte gegen den unteren äußeren Rand.)

e) Deltoides (vordere klavikulare, mittlere akromiale und hintere spinale Portion).

Schon Winslow hat die Wirkungsweise dieses Muskels im ganzen richtig angegeben, im Gegensatz zu manchen späteren Autoren.

1. Die mittlere Portion.

Der längsrotierende Einfluß ist wenigstens für die mittleren Rotationsstellungen = 0. Die Fasern, welche am vorderen Rande des Akromion vor der Ebene des Schulterblattes entspringen, unterstützen in

en drei Extensionsstellungen die Ventralbewegung; die hintersten romialen Fasern unterstützen die Dorsalbewegung; die mittlere rtion wirkt in allen drei Stellungen stark extendierend, am Lebenden ch mehr als am Phantom (s. o.).

2. Hintere (spinale) Portion.

Sie wirkt auswärtsrotierend. Dieser Einfluß vermindert sich bei r Extension und wird zuletzt = 0. Naturgemäß ist diese Wirkung einwärtsrotiertem Arm größer und nimmt mit der Auswärtsrotan ab.

In allen Stellungen ist ein starker Einfluß zur Dorsalbewegung rhanden (beim Lebenden größer als beim Modell). Flexionseinfluß in r Grundstellung; vermindert sich bei der Extension. In der mittleren tensionsstellung wandelt sich, bei den vorderen Fasern früher, bei n hinteren später, der Einfluß zur Flexion in einen solchen zur Extenn um. In stärkerer Extensionsstellung wirkt die ganze Portion tensorisch.

3. Vordere (klavikulare) Portion.

Sie führt den Arm ventralwärts; hat einen starken Einfluß zur nwärtsrotation, der sich allerdings bei der Extension zugunsten der ntralbewegung vermindert. Die Flexionsextensionsachse trifft in r Grundstellung ungefähr den vorderen Rand des Muskels, so daß die nze Portion schon in der Grundstellung extendierend wirkt. Mit nehmender Extension stellt sich der Muskel für die extendierende irkung noch günstiger.

R. Fick betont, daß der mittlere Teil des Deltamuskels den Arm zunächst ht seitlich hebe (Extension in unserem Sinn), sondern nur den Gelenkkopf r Pfanne entlang in die Höhe schiebe. Erst der Widerstand der über den Kopf wegziehenden Bicepssehne und des Kapseldaches rufe das entsprechende drehende räftepaar hervor. Mir scheint es nicht unwahrscheinlich, daß die Spannung der ngen Bicepssehne und des Supraspinatus, aber vielleicht auch (untere) Teile r tiefen Schulterblattmuskeln dazu beitragen, den Oberarmkopf unten zu halten, daß die drehende Wirkung des Deltoides schon früher beginnen kann.

f) Langer Kopf des Biceps.

Als Kraftlinie kommt die Richtung der Ursprungssehne bis zum ulcus intertubercularis in Betracht. Er ist also vor allem Extensor es Schultergelenkes. Zugleich hat er stärkere Wirkung zur Einwärtsotation, die mit fortschreitender Einwärtsrotation zunimmt. Ferner ntfaltet er eine Wirkung zur Ventralbewegung, die bei Extensionsellung auf Kosten des einwärtsrotierenden Einflusses vermehrt ist. er Muskel ist Extensor schon in der Grundstellung.

g) Langer Kopf des Triceps.

Wesentlich Flexor am Schultergelenk in allen drei Stellungen; eine erhebliche Wirkung zur Ventral- und Dorsalbewegung und zur ängsrotation.

Bekanntlich wirken der Biceps- und der lange Tricepskopf auch am llbogengelenk. (Über ihr Verhalten bei gleichzeitiger Bewegung in eiden Gelenken s. u. S. 326.)

h) M. coracobrachialis und kurzer Kopf des Biceps.

Wirkung zur Skapularflexion des Oberarms im Schultergelenk in

der Grundstellung und bei mittlerer Skapularextension. Bei zunehmender Extension vermindert sich das flektorische Moment und wird schließlich = 0. Bei stärkster Extension tritt etwas Extensionswirkung auf. Einfluß zur Ventralbewegung mit der Extension wachsend. Einfluß zur Einwärtsrotation am auswärtsrotierten Arm. Der Coracobrachialis wirkt in diesem Sinn schwach auch noch bei mittlerer Rotationsstellung des Arms. Mit der Extension des Armes verkleinert sich der einwärtsrotierende Moment zugunsten der Ventralbewegung.

Bei Ventralablenkung des um 50° extendierten Armes und Einwärtsrotation ist nach Winslow, Bichat, A. E. Fick und R. Fick gegen Duchenne der Coracobrachialis Auswärtsrotator.

3. Arbeitsvermögen der Muskeln des Schultergelenkes.

R. Fick gibt in seinem Lehrbuch auf Grund der Muskelquerschnittsbestimmungen von Ed. Weber (1850) und der von A. E. Fick und Em. Weber gemessenen Muskelverkürzungen bei bestimmten Drehungen im Schultergelenk interessante Ausrechnungen über die mögliche Arbeitsleistung der verschiedenen Schultergelenkmuskeln a) bei gleich großen verschieden gerichteten Drehungen von der Grundstellung aus, ferner b) bei der maximalen überhaupt möglichen Längenänderung der verschiedenen Muskeln. Wir geben die Tabelle von R. Fick, welche sich auf den letzteren Punkt bezieht, im folgenden wieder, mit einigen Abänderungen in Kolonne 2 und 3, welche das Wesen der Sache nicht berühren; es sind nur die Stellungsbezeichnungen entsprechend den von uns aufgestellten Normen umgeändert.

Maximale Arbeitsleistung der Schultermuskeln.

Muskelname	Bei maximaler Verkürzung des Muskels ist der Humerus	Bei maximaler Verlängerung des Muskels ist der Humerus	Maximale Längenänderung in cm	Querschnitt des Muskels in qcm (meist nach Ed. Weber)	Mögliche maximale Arbeitsleistung in kg/m b. Annahme von 10 kg Muskelkraft pro qcm
1. Subscapularis	einwärts rotiert	auswärtsrotiert	6,00	25,24	15,134
2. Deltoides, Mittelteil	extendiert und dorsalwärts abgelenkt	flektiert und ventralwärts abgelenkt	ca. 4,5	25,3	11,385
3. Teres major	flektiert und einwärtsrotiert	extendiert, etw. dorsalwärts abgelenkt und auswärtsrotiert	11,4	9,81	11,22
4. Infraspinatus und Teres minor	extendiert, auswärtsrotiert	extendiert, dorsalwärts abgelenkt, einwärtsrotiert	6,38	16,47	10,426

Muskelname	Bei maximaler Verkürzung des Muskels ist der Humerus	Bei maximaler Verlängerung des Muskels ist der Humerus	Maximale Längenänderung in cm	Querschnitt des Muskels in qcm (meist nach Ed. Weber)	Mögliche maximale Arbeitsleistung in kg/m b. Annahme von 10 kg Muskelkraft pro qcm
Biceps, beide Köpfe	extendiert, ventralwärts abgelenkt, einwärtsrotiert	extendiert, ventralwärts abgelenkt, auswärtsrotiert	5,2	6,55 [1])	3,406
Triceps	flektiert und einwärtsrotiert	extendiert, etw. ventralwärts abgelenkt, wenig auswärtsrotiert	6,8	4,75 [1])	3,230
Coracobrachialis	extendiert, ventralwärts abgelenkt	flektiert, dorsalwärts abgelenkt	7,6	5,79	4,4
Supraspinatus	extendiert, auswärtsrotiert	flektiert, ventralwärts abgelenkt	5,45	7,71	3,98

Zum Vergleich seien auch noch die analogen Daten aus der kürzlich ıter der Leitung von R. Fick durchgeführten Arbeit von K. Shiino ›chultergelenkbewegungen und Schultermuskelarbeit, Arch. f. Anat.)13, Suppl.) aufgeführt. Die Querschnitte sind die Summe der Quer·hnitte sämtlicher Fleischfasern. Eine Korrektur zur Berücksichtigung er schrägen Stellung der Fasern zur Zugrichtung des Muskels ist nicht orgenommen worden.

Muskelname	Maximale Längenänderung in m	Querschnitt in qcm		Mögliche maximale Arbeitsleistung in kg/m	
. Subscapularis pars sup.	0,400	5	21	2,0	9,12
„ med	0,042	7		2,94	
„ inf.	0,046	5		2,30	
„ lat.	0,047	4		1,88	
. Deltoides pars clav.	0,067	6,7	34	5,159	21,637
„ acrom.	0,059	22,0		12,980	
„ spin.	0,060	5,3		3,498	
. Teres major	0,090	10,5		9,450	
. Infraspinatus pars sup. . . .	0,054	0,6	13,2	0,324	7,628
„ med. . . .	0,060	6,2		3,720	
„ inf.	0,056	6,4		3,584	

[1]) Nach Braune-Fischer und Grohmann-R. Fick.

Muskelname	Maximale Längenänderung in m	Querschnitt in qcm		Mögliche maximale Arbeitsleistung in kg/m	
Teres minor	0,050	4,0		2,000	
5. Biceps caput long.	0,041	5,9	11	2,419	5,709
„ breve [1])	0,064	5,1		3,290	
6. Triceps caput long.	0,072	15,0		10,800	
8. Coracobrachialis	0,065	5,5		3,575	
8. Supraspinatus	0,047	9,3		4,371	
Pectoralis major pars clav . . .	0,040	3,0		2,760	
„ sternocost.	0,042	9,4	12,9	12,728	16,033
„ abdom. .	0,047	0,5		0,545	
Latiss. dorsi pars sup.	0,095	4,2	8,2	3,990	6,630
„ inf.	0,066	4,0		2,640	

Auch hier muß man sich über die große Verschiedenheit der Ergebnisse wundern. Natürlich haben die späteren Untersuchungen Anspruch auf größere Genauigkeit und Richtigkeit. Es sei aber daran erinnert, daß die Annahme einer absoluten Muskelkraft von 10 Kilo pro qcm jedenfalls zu hoch ist und würde wohl richtiger nur ein Wert von 6 Kilo genommen. Die Zahlen der 4. Kolonne bei Shiino müßten dann auf $^3/_5$ ihres Betrages reduziert werden.

δ) Schlußpräparation des Schultergelenkes.

1. Bemerkungen zur Präparation.

Es kann sich die Präparation der Schultergegend sehr gut zunächst auf die Herstellung eines guten Muskelpräparates, das aber bereits die Beziehungen der tiefen Muskeln zum Gelenk zeigt, beschränken. Die Schlußpräparation des durch seine Muskelbedeckung vor Eintrocknen etc. geschützten Schultergelenkes kann verschoben werden bis alle übrigen Gelenke des freien Armes (von den Fingern angefangen) erledigt sind. Der Arm sollte mit der Schulter vom Stamm abgelöst sein. Es handelt sich bei der Schlußpräparation des Schultergelenkes (wie auch aller übrigen Gelenke), wie schon bei der unteren Extremität nachdrücklich betont wurde, nicht darum, daß man so schnell und so radikal wie möglich jede Spur der am Gelenk liegenden Muskeln und Sehnen entfernt, um ein nacktes Gelenkkapselpräparat herzustellen. Vielmehr gehört zum allerwichtigsten die genaue Untersuchung der anatomischen und mechanischen Beziehungen dieser Muskeln und Sehnen zu den Gelenkkörpern und zur Gelenkkapsel und ihres Verhaltens bei den Gelenkbewegungen. Man wird die tiefen Muskeln wohl durchschneiden und kürzen und ihre Enden sorgfältig gegen das Gelenk hin bis zur Ver-

[1]) Ich setze hier den Mittelwert für 2 Verkürzungs- und Arbeitswerte von Shiino.

chsungsstelle mit der Kapsel präparieren und ablösen, man wird diese Enden er als deutlich sichtbare und faßbare Zipfel im Zusammenhang mit der Kapsel lassen. Es ist wichtig, an der Gelenkkapsel die durch Muskelsehnen verstärkten d die von ihnen frei gelassenen Bezirke ebenso wie die durch Eigenbänder in der nzen Länge verstärkten Partien zu unterscheiden, was am nackten Gelenkpselpräparat nicht mehr möglich ist. Auch mit der Durchschneidung der Kapsel l man nicht so eilig sein. Die Entfernung der dünnen Teile der Kapsel genügt ist, um schon einen ganz guten Einblick ins Gelenk zu verschaffen. Das so gestellte Bänderpräparat ist ein möglichst lange zu erhaltendes kostbares odell, an welchem die im Gelenk möglichen Stellungen und Bewegungen und die mit verbundene Inanspruchnahme der Kapsel und Bänder nicht gründlich nug studiert werden können.

Zum Schluß freilich muß man danach trachten, sich eine möglichst gute ersicht auch über die Innenseite der Kapsel zu verschaffen, wozu besondere äparationsmethoden notwendig sind.

Bei der Präparation der unmittelbar am Schultergelenk gelegenen Muskeln d, abgesehen von der Bursa mucosa subdeltoidea, welche sich zwischen Pars acromialis des M. deltoides und der Gegend des Tuberculum majus ausdehnt, und von der Bursa mucosa subacromialis, die beide keiner besonderen sprechung bedürfen (sie sind nach ihrer Entstehungsursache völlig klar, variieren rigens in ihrer Ausdehnung und kommunizieren häufig miteinander), folgende sonderen Bildungen und Verhältnisse genauer zu berücksichtigen:

a) Die Verschmelzung der Endteile des M. supra- und infraspinatus, sowie s M. subscapularis mit der Kapsel. (Um dieses Verhältnis auch beim M. supraspinatus klarzustellen und überhaupt die obere Kapselwand genügend freilegen können, muß das Lig. coraco-acromiale, wenn nicht sogar das Akromion, entfernt werden.)

b) Die am oberen Rande des M. subscapularis gelegenen Synovial- und Schleimbeutel.

c) Das Verhalten der langen Bicepssehne zur Kapsel.

2. Die Schultergelenkkapsel und ihre Beziehungen zur umgebenden Muskulatur.

aa) Allgemeines.

Der Ursprung der Kapsel entspricht, wie schon erwähnt wurde, nten dem Rand der Gelenklippe, während er sich nach oben allmählich om Rande derselben nach der Peripherie zurückzieht, so daß der Limbus rei wird. Ganz oben liegt der Kapselursprung ganz außerhalb der Lippe und peripher vom Ursprung der Bicepssehne an derselben (s. u.). Auch vorn, an der Einziehung des Pfannenrandes, ist die Gelenklippe nach der Gelenkhöhle zu frei und bildet die hintere Schwelle der Eingangspforte zur Bursa synovialis subscapularis profunda (s. u. Figg. 22 und 23).

Der Kapselansatz befindet sich am Collum anatomicum, und zwar in größerer Entfernung vom Rand der überknorpelten Gelenkfläche unten und hinten, wo der Rand der Gelenkfläche stärker unterschnitten und unter der angespannten Kapsel (bei der skapularen Extension) ein größerer „toter Winkel" vorhanden ist.

Die Beziehung der tiefen Muskeln des Schulterblattes und des langen Bicepskopfes zur Kapsel ist deshalb eine besonders innige, sie schließen sich dem Humeruskopf und der Gelenkkapsel deshalb besonders eng an, weil sie entweder nahe jenseits desselben am Humerus enden

oder dicht am Pfannenrand entspringen. Es bleibt von ihnen nur ein relativ schmales Feld der unteren Kapselwand unbedeckt. Subscapularis und Supraspinatus legen sich jenseits der Wurzel des Processus coracoides, Supra- und Infraspinatus jenseits der Basis der Spina scapulae näher zusammen. Alle die letztgenannten Muskeln verschmelzen sehnig mit dem distalen Teil der Kapsel, lassen aber den proximalen Anfangsteil frei. Andererseits entspringt von den Längsmuskeln des Oberarmes der lange Kopf des Biceps unmittelbar am Pfannenrand (Tuberculum supraglenoidale) und verläuft, dicht der oberen Wölbung des Humeruskopfes angeschlossen, zum Sulcus intertubercularis. Er geht ebenfalls innige Beziehungen mit der Kapsel ein. Der lange Kopf des Triceps dagegen entspringt zwar auch am Pfannenrand, hebt sich aber alsbald vom Humeruskopf und Gelenk ab wegen seiner Lage an der Konkavseite der oberen Humerusabbiegung.

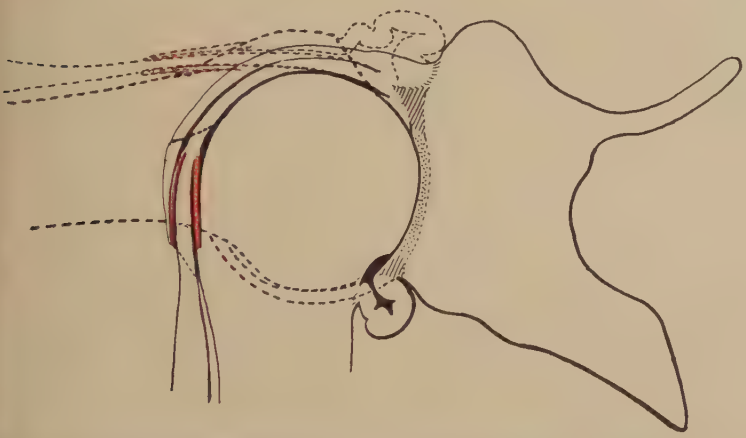
Eine Verschmelzung der Muskeln mit der Gelenkkapsel findet statt, soweit sie derselben stets angeschlossen bleiben und auch in seitlicher Richtung über ihr nicht verschoben werden, in welchem Fall sich zwischen beiden ein Schleimbeutel bilden müßte. Die Verschmelzung kann sich aber nur soweit in der Richtung des Muskels erstrecken, daß ein dünner Teil der Gelenkkapsel frei bleibt, dessen Länge mindestens der halben Gesamtexkursion des Muskels entspricht (s. Allg. Teil d. Lb. Bd. 1, S. 105).

ββ) Die lange Sehne des Biceps und die Bursa synovialis intertubercularis.

Die lange Sehne des Biceps entspringt mit zwei Schenkeln aus der oberen Peripherie des Limbus glenoidalis und vom Tuberculum supraglenoidale. Sie verläuft stets mehr oder weniger gespannt und der oberen Rundung des Humeruskopfes angeschmiegt zum Sulcus intertubercularis, den sie der Länge nach durchzieht. Bekanntlich liegt die Sehne bis zum Eintritt zwischen die beiden Tubercula frei im Innern der Gelenkhöhle. Die obere Kapselwand liegt über ihr, von oben her selbst wieder zugedeckt durch die Endteile des M. supraspinatus und subscapularis, die gerade hier einander nahetreten. Die Kapsel setzt sich jenseits des Collum anatomicum fest, endet aber mit ihrem verstärkten Teil zwischen den Tubercula in einem Rand, an welchen sich die, wenn auch immer noch etwas verstärkte, so doch erheblich dünnere Faserung anschließt, welche den Sulcus intertubercularis überbrückt.

Es besteht hier eine Pforte in der festen Wand der Gelenkhöhle, welche einerseits vom verstärkten Rand der Gelenkkapsel, andererseits vom Boden des Sulcus intertubercularis begrenzt ist. Sie wird durch die an die verstärkte Kapselpartie sich anschließende dünnere, faserige Brücke, welche retinaculumartig den Sulcus überbrückt, zur osteofibrösen Röhre verlängert; in ihr gleitet die Sehne auf und ab, oder besser gesagt, es gleitet diese Röhre an der gespannten Sehne bei den Bewegungen des Humerus im Gelenk distalwärts und proximalwärts. Um die Sehne herum findet sich natürlich

ıe circumtendinöse Spalte als Fortsetzung der Gelenkhöhle. eselbe muß gegen das distalwärts angrenzende Gewebe durch eine ınne Verschlußmembran abgeschlossen sein, welche sich von den -talen Rändern des osteofibrösen Kanals zur Sehne hinüberspannt. ese Membran muß lang genug sein, um die Hin- und Herbewegung r Sehne zu gestatten. Sie wird von einer mittleren schlaffen Stellung s distalwärts handschuhfingerartig von der Sehne ausgezogen, wenn i Hebung des Armes nach außen die Sehne relativ zu den Tubercula talwärts gleitet; sie wird umgekehrt nach der Gelenkhöhle zu ein--stülpt, wenn bei Senkung des Humerus und Entfernung der Tuber-la vom oberen Pfannenrand die Sehne sich relativ zu den Tubercula ›ximalwärts verschiebt.



g. 19. Verhalten der Bizepssehne am Schultergelenk bei Axillarflexion und -extension.

Welcker[1]) (His' Archiv 1878) hat gezeigt, daß die Bicepssehne cht von Anfang an bei der Entstehung der Gelenkhöhle in das Innere rselben zu liegen kommt, sondern zunächst mit der Kapsel verbunden und erst später ihr gegenüber in die Tiefe rückt, wobei sie anfangs ch durch eine Art Mesenterium (ein Mesotonium) mit ihr verbunden eibt, um sich zuletzt völlig von ihr abzulösen.

Die circumtendinöse Spalte im Sulcus intertubercularis ist zu-chst eine selbständige Sehnenscheidenspalte und tritt erst sekundär it der Gelenkhöhle in Kommunikation. Sie wird dadurch erst zu ner Bursa synovialis intertubercularis. Die sog. Ablösung der cepssehne von der Gelenkkapsel nach innen ist genauer gesagt eine blösung der Kapsel von der Sehne nach außen. Die Sehne bleibt ets gespannt. Die Kapsel aber hebt sich bei der Kontraktion des

[1]) Handbuch I. S. 185.

M. supraspinatus von der Sehne nach oben ab unter Faltung resp. Zusammenschiebung in ihrem proximalen Abschnitt. Der gleiche Einfluß bewirkt das Zurücktreten des Kapselursprunges gegenüber dem Limbus glenoidalis. Es ist verständlich, daß die Gelenkhöhle sehr bald von beiden Seiten her über der Bicepssehne in eins zusammenfließt. Distalerseits handelt es sich um das Abrücken des Kapselansatzes auf die Höhe der Tubercula und das „Bündigwerden" mit der Decke des Sulcus intertubercularis.

Beim Schnabeltier ist nach R. Fick dieser Kanal durch eine Knochenbrücke zugedeckt. Bei manchen Tieren verläuft die Bicepssehne zeitlebens außerhalb der Gelenkhöhle, mit dem distalen Teil der Kapsel mehr oder weniger weit verschmolzen oder gänzlich außerhalb desselben.

γγ) Die Verhältnisse am oberen Rande des M. subscapularis.

Der obere Rand des Subscapularis läuft unter dem Processus coracoides vorbei als ein einigermaßen gefestigtes Gebilde und gleitet an ihm in ausgiebigem Maße unter Druck hin und her. Der Druck auf die Unterlage ist besonders stark bei hochstehendem Tuberculum minus (ventralwärts geführtem Humerus).

Die Existenz einer Bursa mucosa infracoracoidea wird dadurch verständlich gemacht. Von ihr ursprünglich getrennt, beim Erwachsenen aber meist mit ihr kommunizierend, existiert die als Bursa synovialis subscapularis primitiva zu bezeichnende Synovialtasche, welche durch Vereinigung mit der Bursa mucosa infracoracoidea zur Bursa synovialis infracoracoidea wird. Die Bursa synovialis subscapularis verdankt meiner Meinung nach ihre Entstehung nicht wie die Bursa mucosa infracoracoidea der gleitenden Verschiebung des Subscapularis am Processus coracoides, sondern einem anderen Umstand. Indem nämlich der obere Muskelrand von der Rinne unter dem Rabenschnabelfortsatz zum Humerus hinübergeht, berührt er nicht unter allen Umständen den oberen Teil des vorderen Pfannenrandes, er hebt sich vielmehr bei stärkerer Anspannung und weit nach vorn (oder außen) liegendem Tuberculum minus vom Pfannenrand ab (Ventralstellung und Auswärtsrotation des Humerus), während er sich allerdings im erschlafften Zustand bei einwärtsrotiertem Humerus dicht an den Pfannenrand und an den Hals der Scapula anlegt. Man darf wohl annehmen, daß ein solches Bestreben des Muskels sich von der Unterlage an diesem durch den Muskel rings völlig abgeschlossenen Bezirk zu einem Nachdringen und einer Ausstülpung der unterliegenden relativ dünnen Kapselwand geführt hat. Es handelt sich um eine Stelle oben in der vorderen Kapselwand, unmittelbar jenseits des Limbus glenoidalis. Die so gebildete Synovialtasche ist also durch Abhebung des Muskels entstanden. Die Stelle, an welcher sich die Kommunikationsöffnung des Hauptgelenkraumes mit der Bursa synovialis subscapularis befindet, resp. an welcher die Ausstülpung der Kapselmembran stattgefunden hat, liegt oben, dicht am vorderen Pfannenrand, entweder zwischen der Bicepssehne und dem Lig. coracohumerale einerseits und dem die vordere Kapselwand verstärkenden, von mir als Ligamen-

m glenoideo-humerale (anterius) superius bezeichneten Faserstrang (Lig. enoideo-humerale medium R. Fick) andererseits oder unterhalb des tzteren. (Über abweichende Verhältnisse der Kommunikation, wie sie snahmsweise zu beobachten sind, s. R. Fick, Bd. 1, S. 183.)

Die gewöhnliche Kommunikationsöffnung wird sehr verschieden eit gefunden, ebenso wie der Abhebungsraum. Es soll gelegentlich ne Luxation des Humeruskopfes unter den Processus coracoides me Zerreißung der Kapsel stattfinden können, indem sich der Kopf rch die erweiterte Kommunikationsöffnung hindurchzwängt.

Näher dem Ansatz des M. subscapularis, am oberen Rande seiner hne, kann sich noch eine besondere Nebentasche der Gelenkhöhle sbilden, indem bei gewissen Stellungen (flektiertem, einwärts rotiertem d ventralwärts geführtem Humerus) der genannte Sehnenrand aus m Niveau der übrigen Kapsel, welche als Lig. coraco-humerale superius . u.) verstärkt und gespannt ist, nach dem Innern der Gelenkhöhle vorspringt, oder indem sich umgekehrt die übrige Kapsel über diesen and heraushebt. Die betreffende Tasche (Bursa synovialis tendinis . subscapularis von R. Fick) dringt an der Ober- und Außenseite s Sehnenrandes vor.

3. Eigenbänder der Kapsel.

An den von den Muskelsehnen freigelassenen Teilen der Kapsel die Eigenfaserung gut zu erkennen, nicht dagegen an den durch die uskelsehnen verstärkten Teilen, wenigstens nicht von außen her. Die onderung der von den Muskeln herrührenden Sehnenfasern von der igenfaserung im distalen Teil der Kapsel ist in zuverlässiger Weise ium möglich und hat immer etwas Willkürliches.

Stärkere, scharf begrenzte Bänder sind am Schultergelenk nicht vor- anden mit Ausnahme des Lig. glenoideo-humerale sup. und allenfalls es Lig. coracohumerale.

αα) Das Ligamentum coracohumerale (superius).

Es verstärkt die Kapsel wesentlich in der Lücke zwischen dem . supraspinatus und subscapularis, über der Bicepssehne. Ein wirk- ch bandartiger, aus aneinander geschlossenen Fasern bestehender aserstreifen entspringt vom höchsten Teil des Tuberculum supra- lenoidale bis gegen die Wurzel des Processus coracoides hin und zieht egen die einander benachbarten Teile der proximalen Ränder der ubercula und in die Decke des Sulcus intertubercularis; er verschmilzt einiger Entfernung von den Tubercula mit den einander benach- arten Sehnenrändern der genannten beiden Muskeln. Weitere Faser- ige entspringen in mehr gelockerter Formation höher oben an der Wurzel des Processus coracoides und an der Unterseite resp. dem äußeren and seines Hakens und strahlen, seitlich etwas divergierend im distalen bschnitt der Kapsel mit dem erwähnten Faserstreifen und den Sehnen er beiden Muskeln zusammen. Diese höher am Processus cora-

coides entspringenden Faserzüge sind recht verschieden stark entwickelt und stellen sich oft mehr als eine faszienartige Verdichtung des Zellgewebes dar, welches den Raum vor dem M. supraspinatus und dem subakromialen Schleimbeutel bis zur Bursa synovialis subscapularis ausfüllt und gegen diese hin den Charakter eines lockeren Fettgewebes annimmt. Letzterem entsprechend ist die innere Oberfläche

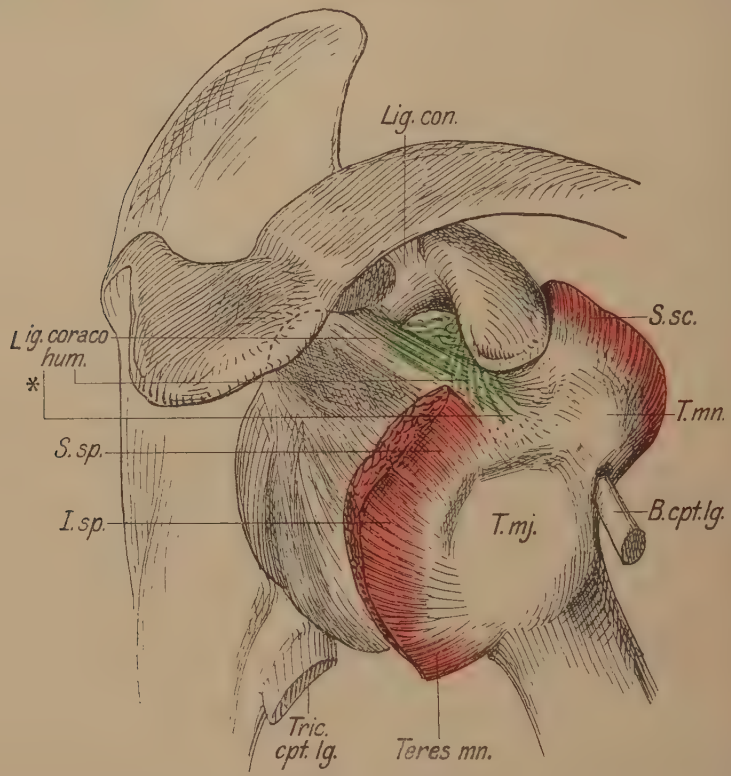


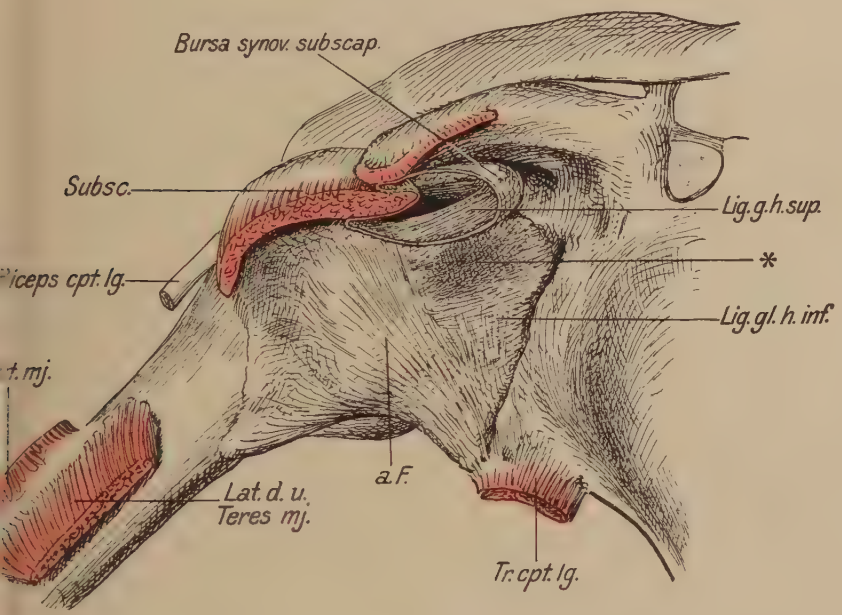
Fig. 20. Schultergelenk mit Kapsel und Bändern von außen. Der variable Teil des Lig. coracohumerale grün.

der Gelenkkapsel unregelmäßig gewulstet und unter Umständen geradezu gelappt und zerschnitten. In anderen Fällen aber kommt es zur Ausbildung einer wirklich bandartigen starken fibrösen Platte, welche von der Unterseite des Hackens schräg rückwärts zur Kapsel unter dem oberen Rande des Supraspinatus nach seiner Verschmelzung mit der Kapsel absteigt (Fig. 20).

ββ) Die Ligg. gleno-humeralia.

Mit R. Fick und anderen bezeichnen wir die an der Gelenklippe selbst entspringenden Faserzüge als Ligamenta gleno(ideo)- humeralia

lia. Bald als ein besonderes Band, bald als ein Teil des Lig. coraco-merale ist von verschiedenen Autoren ein Faserzug beschrieben rden, der vom oberen Pol der Gelenklippe und auch noch proximal-rts vom vorderen Ursprung der Bicepssehne am Tuberculum supra-noidale bis gegen den Processus coracoides hin entspringt und sich n unten und vorn her dem Lig. coracohumerale anschließt. Ich be ein solches Band, welches die letztere Bedingung erfüllt (Lig. no-humerale superius R. Fick) nicht auffinden können.



g. 21. Rechtes Schultergelenk mit Kapsel und Bändern von vorn. Humerus-pf von der Pfanne abgezogen. *Subsc.* Subscapularis, *Lig. g. h. sup.* Lig. gleno-merale superius, *Lig. gl. h. inf.* Lig. gleno-humerale inferius, *a. F.* aufsteigende sern der vorderen Kapselwand, * dünne Stelle der Kapsel, wo sich in anderen Präparaten der Eingang zur Bursa synovialis subscapularis befindet.

Dagegen ist ein kleines, kompaktes Band gut ausgeprägt, welches n Eingang in die Bursa synovialis subscapularis bald von oben, bald n unten her begrenzt. Es entspringt hoch oben am vorderen Pfannen-nd (über der seichten Einkerbung desselben) bis hinauf zum höchsten nkt unmittelbar aus dem Limbus und seiner Nachbarschaft (den vor-ren Schenkel des Ursprungs der Bicepssehne umfassend) und steigt nächst in der vorderen Kapselwand distalwärts etwas ab, um sich iterhin mit den aufsteigenden Fasern der vorderen Kapselwand zu rweben. Der obere Rand des Bandes springt in dem Präparat,

welches in Fig. 21 abgebildet ist, als Schwelle des Eingangs in die Bursa subscapularis kulissenartig vor. Der obere Rand dieser Schwelle biegt zuletzt, infolge der Verwebung der absteigenden mit den aufsteigenden Fasern ziemlich plötzlich nach außen auf gegen den oberen Rand des Tuberculum minus.

Dieses Band ist das Lig. gleno-humerale med. von R. Fick. Man wird es wohl besser als Lig. gleno-humerale (anterius) superius bezeichnen (Fig. 21 und 22).

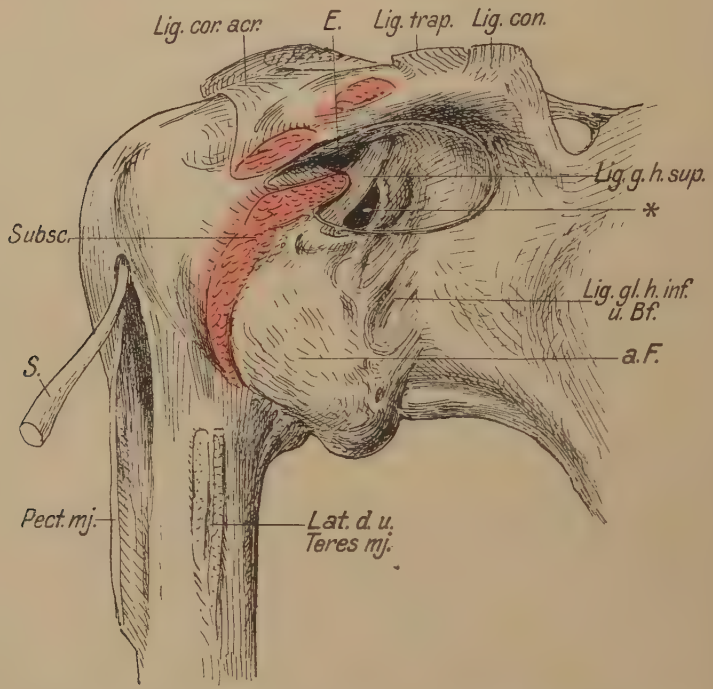


Fig. 22. Rechtes Schultergelenk von vorn. Clavicula entfernt. *Lig. cor. acr.* Lig. coraco-acromiale, *Lig. trap.* Lig. trapezoides, *Lig. con.* Lig. conicum, *Lig. g. h. sup.* Lig. gleno-humerale superius, *Lig. gl. h. inf.* u. *Bf.* Lig. gleno-humerale inferius und Bogenfasern, *a. F.* aufsteigende Fasern der vorderen Kapselwand. *E.* obere, * untere Kommunikationsstelle der Gelenkhöhle mit der Bursa synovialis subscapularis, *S.* Sehne des langen Bicepskopfes.

Unterhalb dieses Bandes wird in der Nähe des vorderen Pfannenrandes die Kapsel sehr dünn, um sich abwärts zu durch schräg distalwärts absteigende Fasern allmählich zu verstärken. An letztere schließen sich die Fasern an, welche vom Tuberculum infraglenoidale und dem untersten Teil des Limbus glenoidalis entspringen und in der untersten Peripherie der Kapsel bis zum Humerusschaft hinziehen. Diese ganze Faserung stellt das Lig. gleno-humerale inferius der Autoren dar (Figg. 21

und 22). Ich finde aber als einen wesentlichen Bestandteil der vorderen Kapselwand eine mehr oberflächlich aus dem unteren Teil des vorderen Limbus und vom Tuberculum infraglenoidale entspringende Faserung, welche gegen das Tuberculum minus des Humerus aufsteigt (im Anschluß an die zum Humerusschaft gehenden Fasern) und sich distalwärts inniger mit den Fasern des Lig. gleno-humerale inferius und superius verwebt, oder auch in solche proximalwärts umbiegt, so daß bogenförmige Faserschlingen entstehen (Fig. 21). Mitunter strahlen vom unteren Pfannenrand her aufsteigende Fasern auch in den dünnen Teil der Kapsel bis nahe zum Pfannenrand mehr gleichmäßig ein.

In der Regel nun ist die oben genannte, in der Fig. 21 mit * bezeichnete dünne Stelle der Kapsel durchbrochen und findet sich hier der Haupteingang zur Bursa synovialis subscapularis. Ein Zugang oberhalb des Lig. gleno-humerale superius kann daneben vorhanden sein (Fig. 22) oder es besteht nur dieser obere Zugang (Fig. 21). Mitunter zeigen Reste einer vor dem Lig. gleno-humerale gelegenen Scheidewand, daß der nach außen davon gelegene Recessus der Bursa und der innere Abschnitt getrennt entstehen und sich nachträglich ineinander öffnen.

Der beschriebene Faserverlauf der vorderen und unteren Kapselwand ist nicht immer in allen Teilen gleich gut zu erkennen und ist überhaupt nicht immer deutlich ausgeprägt. Einige Züge treten an der Innenseite, andere an der Außenseite besser hervor. Manchmal erhält man Aufschluß, wenn man die vordere Kapselwand, nach Entfernung des Muskels, gegen das Licht hält. Tatsächlich erscheint aber die Kapsel oft über größere Strecken weg mehr nur gleichmäßig verstärkt und ohne deutlich erkennbare Faserung.

Die distalwärts absteigenden Linien der vorderen und die Längslinien der unteren Kapselwand werden offenbar gespannt bei Dorsalablenkung und Axillarextension des Humerus, die distalwärts aufsteigenden Züge namentlich bei Auswärtsrotation. Verbinden sich Extension, Dorsalablenkung und Auswärtsrotation, so spannt sich die Kapsel über dem nach vorn aus der Pfanne heraustretenden unterschnittenen Rande des Gelenkkopfes, und zwar gleichzeitig in verschiedenen Richtungen, so daß verständlich wird, wie es auch zur Ausbildung von bogenförmigen Faserzügen kommen kann.

Die hintere Kapselwand (Fig. 24) zeigt keine ausgesprochenen besonderen Faserzüge, abgesehen natürlich vom distalen Teil, mit welchem die Sehnen des Supra- und Infraspinatus und die Teres major verwachsen sind. Ein Streifen der unteren Kapselwand, der sich distalwärts verbreitert, bleibt zwischen dem Subscapularis und Teres minor von Muskeln unbedeckt.

4. Beurteilung der Inanspruchnahme der Kapsel.

Bei mittlerer Radialstellung, in welcher die Mitten der Längslinien des Humeruskopfes und des Schulterblattes und die Mitten der beiden Gelenkflächen zusammenfallen, stehen sich die beiden Anheftungsränder des Kapselringes am besten parallel. Soll auch noch mit Bezug auf die mögliche Drehung des Humerus um die Mittellinie seines Kopfes parallel dem Pfannenrand eine Mittelstellung vorhanden sein, so muß die Ebene der proximalen Humerusabbiegung (Hauptebene des Humerus) mit der Hauptebene des Schulterblattes zusammenfallen. An der Ursprungsstelle der Kapsel unterscheiden wir die beiden Punkte, an welchen sie von der Hauptebene des Schulterblattes geschnitten

wird, als Oberpunkt und Unterpunkt, ebenso an der Ansatzlinie die beiden Punkte, in welchen sie von der Hauptebene des Humerus

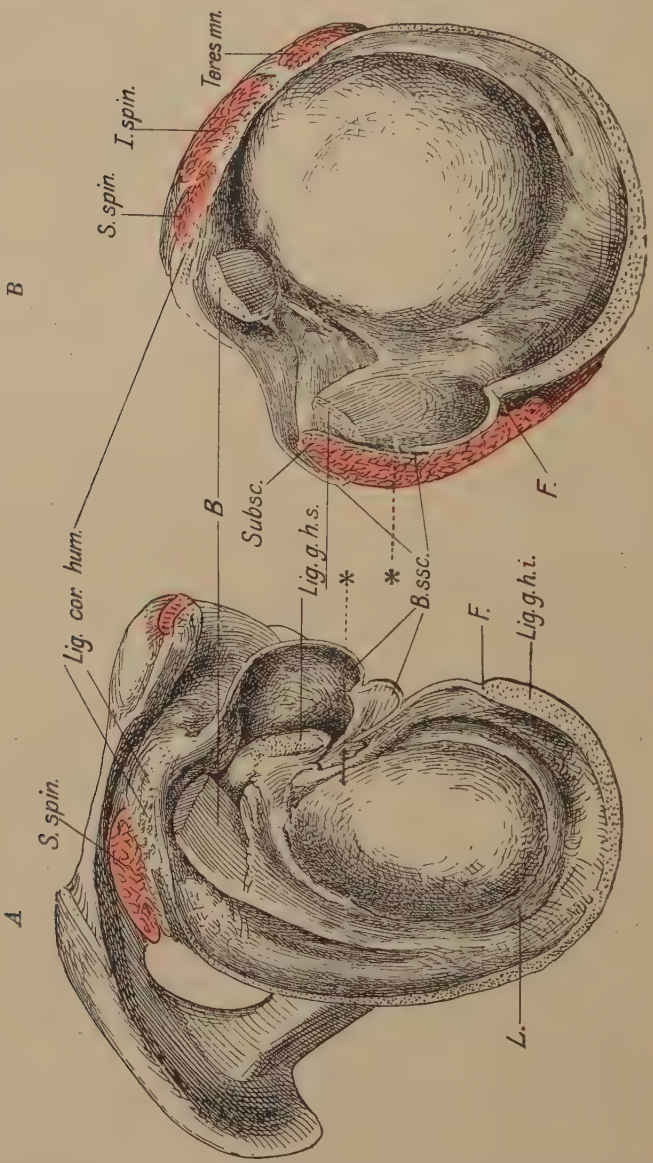


Fig. 23. Rechtes Schultergelenk, Kapsel quer durchgeschnitten. *A* proximaler Teil mit Pfanne, *B* distaler Teil mit Gelenkkopf. *L.* Limbus glenoidalis, *Lig. g. h. i.* Lig. gleno-humerale inferius, *Lig. g. h. s.* Lig. gleno-humerale superius, über ihm findet sich hier ein Zugang zur *B. ssc.* Bursa synovialis subscapularis, * gewöhnliche Kommunikationsstelle, *F.* Schwelle derselben, *Subsc.* Musc. subscapularis, *B.* Bicepssehne, *Lig. cor. hum.* Lig. coraco-humerale.

geschnitten wird. In der Mittelstellung des Gelenkes müssen sich also sowohl die beiden Oberpunkte als die beiden Unterpunkte genau in

Längslinien des Gelenkes gegenüberstehen. Der vordere Rand des Tuberculum majus, welcher dem Oberpunkt der Ansatzlinie entspricht, muß dem Tuberculum supraglenoidale gegenüberstehen usw.

Es ist dann die Kapsel in allen Längslinien gleichmäßig entspannt und weder nach der einen noch nach der anderen Seite torquiert. Aus dieser Mittelstellung heraus sind nun möglich:

1. Drehungen parallel irgend einer Längsebene des Kopfes, die durch die Mittellinie des Kopfes und des Schulterblattes geht. Sie führen zur Neigung der Kopfmittellinie gegen irgend einen Punkt des Pfannenrandes. Dabei erschlafft die Kapsel am meisten in Längslinien an derjenigen Seite, nach welcher hin die Drehung des Kopfes stattfindet und sie spannt sich am meisten in den Längslinien der gegenüberliegenden Seite.

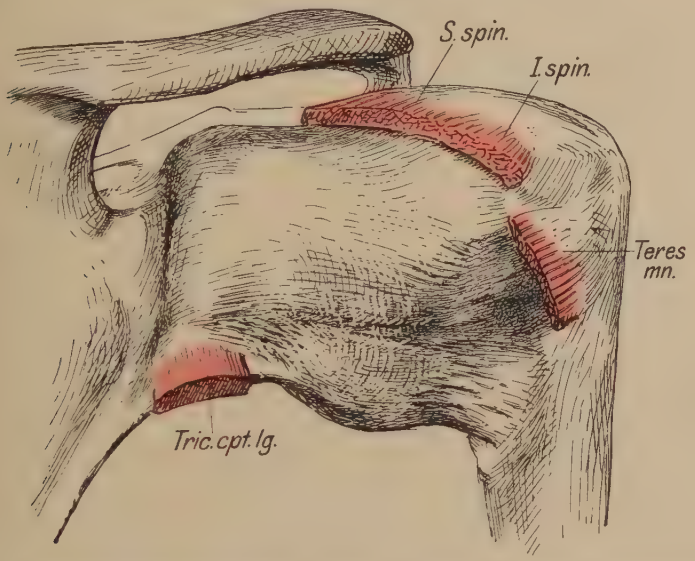


Fig. 24. Rechtes Schultergelenk von hinten. Humerus von der Pfanne abgezogen.

2. Von der Mittelstellung aus sind ferner Drehungen möglich parallel dem Pfannenrand um die Normale der Pfannenmitte (Hauptlinie des Schulterblattes) als Achse; sie führen zur Torsion der Kapsel. Man wird sie je nach der Bewegung der Vorderseite des Kapselansatzes als Torsionsdrehung nach unten oder nach oben bezeichnen. Die Längslinien der Kapsel stellen sich dabei schräg spiralig. Die stärkste Anspannung der Kapsel findet in Linien statt, die etwas mehr schräg stehen als die schräggestellten Längslinien. Bei diesen Drehungen bewegt sich das Mittelstück des Humerus in einem Kegelmantel um die Mittellinie des Kopfes und anatomischen Halses. Alle überhaupt im Gelenk möglichen Stellungen kann man sich auf diese Weise direkt

aus der Mittelstellung durch Neigung des Humerushalses gegen eine bestimmte Stelle des Pfannenrandes, oder durch Torsionsdrehung, oder durch Kombination beider Bewegungsarten entstanden denken.

Soll nun für irgend eine von der Mittelstellung des Gelenkes abweichende Stellung des Humerus ermittelt werden, in welcher Weise die Kapsel dabei in Anspruch genommen ist, so ist dafür notwendig zu wissen, a) welche Stelle des Kapselansatzes sich dem Pfannenrand am meisten genähert hat, b) nach welcher Seite hin und um wieviel diese Stelle sich gegenüber ihrer Lage bei der Mittelstellung entlang dem Pfannenrand verschoben hat. Beim Lebenden findet man dafür folgende Anhaltspunkte:

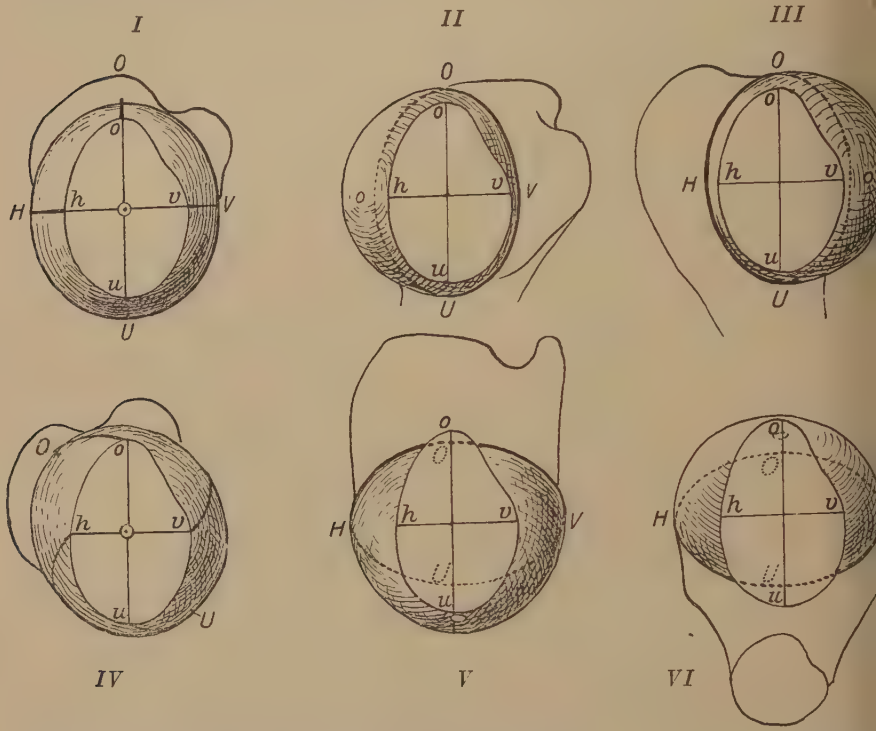


Fig. 25. Verschiedene Stellungen des Kopfes zur Pfanne, schematisch. *I.* Mittelstellung, *II.* Drehung des Kopfes gegen den vorderen, *III.* gegen den hinteren, *IV.* gegen den oberen, *V.* gegen den unteren Pfannenrand, *VI.* Torsionsdrehung nach oben.

Die Mittellinie des Humeruskopfes bildet mit der Längslinie des Humerus einen Winkel von 130°; ihre Verlängerung steht zu letzterer in einem Winkel von 50°. Ferner macht die Ebene der oberen Humerusabbiegung (Hauptebene des Humerus) je nach der „Torsion des Humerus" (s. u.) mit der durch die Ellbogenachse gehenden Längsebene (der Bestimmungsebene) des Humerus einen Winkel von 0—20° (meist 6—10°). Danach ist es möglich, sich am Lebenden, an welchen man die Epikondylen abtasten und sich über den Verlauf der Bestimmungsebene und der Humerushauptebene annäherungsweise orientieren kann, auch mit genügender Genauigkeit die Richtung der Mittellinie des Humeruskopfes zum Schulter

latt und die Lage ihres Schnittpunktes in der Exkursionskugelfläche (des Hals-hsenpunktes) zu beurteilen. Man hat vom Ellbogenpunkt aus im größten Kreis er Epikondylenlinie um 40° nach außen und von der so gefundenen Stelle senk-echt zum Meridian um ca. 10° nach vorn zu gehen, um zum Halsachsen-unkt zu gelangen.

Ferner wird es möglich sein, ungefähr den Verlauf der Hauptlinie des Schulter-lattes und ihre Schnittpunkte mit der Exkursionskugelfläche zu bestimmen, enigstens so genau, daß es nun gelingt, die Ebene abzustecken, welche durch diese auptlinie des Schulterblattes und die Mittellinie des Humeruskopfes geht, und e Größe des Winkels, welche die genannten Linien in dieser Ebene miteinander lden.

Der Winkel, um welchen die Humerushalsachse (Mittellinie des Kopfes) dreht werden muß, um mit der Hauptlinie des Schulterblattes zusammenzufallen, bt nach Größe und Richtung die Neigung der Humerushalsachse zum Pfannen-nd, der Winkel aber, um welchen der Humerus nun noch um die Hauptlinie des chulterblattes (ihre Verlängerung) aufwärts oder abwärts gedreht werden muß, mit seine Hauptebene mit derjenigen des Schulterblattes zusammenfällt, gibt ufschluß über die Größe und Richtung der Torsion, welche in der in Rede stehenden tellung vorhanden ist. Dies alles läßt sich sehr gut an einem Globus mit Grad-ilung aufzeichnen und verfolgen. Schließlich mag man, um sich die Verhältnisse er Kapsel zu veranschaulichen, ein kleines Modell zu Hilfe nehmen, wie wir ein ähnliches schon beim Hüftgelenk empfohlen haben. Auf einer Strumpfkugel, elche dem Humeruskopf entspricht, zeichnet man sich den Pfannenrand fest ein. en Kapselansatz stellt man durch einen um die Kugel zusammengebogenen Blei-raht dar. Am Ursprungsring und am Ansatzring der Kapsel markiert man sich den Ober- und den Unterpunkt und auch noch einen Vorder- und einen Hinter-unkt (vgl. Bd. III, S. 51).

Benutzt man einen Humeruskopf zum Modell und verschiebt uf demselben eine Platte, welche dem Pfannenboden, oder einen Ring, elcher dem Pfannenrand entspricht, so erhält man verschiedenen tellungen entsprechend Bilder, wie sie in nebenstehender Figur 25 dar-estellt sind.

5. Verhalten der Kapsel bei senkrecht herabhängendem Oberarm und Wirkungsweise des Luftdruckes am Schultergelenk.

Sind bei aufrechter Körperhaltung die Arme im Abhang, so ist ie Humerushalsachse um ca. 50° gegenüber der vertikalen Humerus-nittellinie gehoben. Sie befindet sich dabei ungefähr in der Haupt-bene des Schulterblattes, wenn die lateralen Epikondylen nach außen vorn von den medialen stehen (der rechtwinklig gebeugte Vorderarm würde schräg nach vorn innen gerichtet sein). Man muß aus dieser Stel-ung den Arm um ca. 60° parallel der Ebene des Schulterblattes drehen, damit die Halsachse mit der Hauptlinie des Schulterblattes zusammen-fällt. Außerdem muß eine kleine Abwärtsdrehung des Humerus um die Halsachse stattfinden, damit seine Hauptebene (Ebene seiner proximalen Biegung) mit der Hauptebene des Schulterblattes übereinstimmt. Sind ie Arme im Abhang, so ist die Humerushalsachse dem unteren Rand der Pfanne um ca. 60° zugeneigt; dementsprechend ist die Kapsel unten gefaltet, oben gestreckt; außerdem ist sie etwas nach unten torquiert, ntsprechend der geringen Abwärtsrotation des Humerus um die Hals-chse.

Beim herabhängenden Arm zeigt das Lig. glenoideo-humerale anterius einen schräg auswärts absteigenden Verlauf in der vorderen Kapselwand. Seine Schrägstellung wird bei der Rückführung des Humerus in die Mittelstellung völlig aufgehoben. Das Band verläuft noch stärker spiralig, wenn der herabhängende Arm in Dorsalstellung rückwärts geführt und namentlich wenn er zugleich um seine Mittellinie einwärts rotiert wird; der Humerus ist dann um seine Halsachse am meisten abwärts gedreht und mit dieser dem hinteren (und unteren) Pfannenrand am meisten zugeneigt.

Das Lig. coracohumerale ist besonders stark angespannt, wenn der Arm dicht vor dem äußeren Rand des Schulterblattes vorbei in ventrale Stellung gebracht ist.

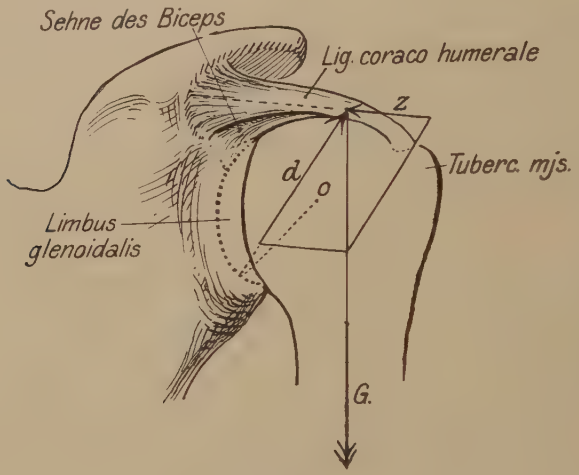


Fig. 26.

Ludkewitsch hat gezeigt, daß bei dieser Stellung, namentlich bei etwas stärker aufgerichtetem Schulterblatt am Bänderpräparat der Humerus aus dem Gelenk nicht abgleitet, selbst wenn man die Kapsel bis auf das Lig. coracohumerale weggenommen hat. Obenstehende Figur zeigt wie dabei der Zug des Bandes z zusammen mit dem Druckwiderstand des unteren Teiles der Pfanne dem Gewicht des Armes Gleichgewicht hält. Sobald man aber das Schulterblatt mit seiner Mittellinie horizontal stellt, gleitet der Kopf aus der Pfanne nach unten heraus, selbst bei unversehrter Kapsel. Solches geschieht wohl am Präparat, aber nicht beim Lebenden.

Es fragt sich, welche Kräfte beim Lebenden, bei direkt nach außen oder nach außen unten gerichteter Pfanne den Arm festhalten. Der Überdruck der äußeren Luft über den inneren Gelenkdruck, insofern er, wie dies am Bänderpräparat der Fall ist, resultierend in der Richtung der Normalen der Pfannenmitte wirkt, vermag bei vertikal

:ehender Pfanne den Gelenkkopf für sich allein nicht im Gelenk zu alten, und auch wenn die Pfanne nicht genau vertikal steht, sondern berhängt, kann seine vertikal nach oben gerichtete Komponente nur ering sein. Das Lig. coracohumerale hält den Humerus bei vertikal stellter Pfanne auch nicht oder doch erst, nachdem der Kopf sich ein utes Stück an der Pfanne nach unten verschoben hat. Tatsächlich ber findet ein solches wenn auch unvollständiges Herausgleiten des umeruskopfes beim Lebenden bei normaler Haltung der Schulter der mehr quergestelltem Schulterblatt, selbst bei Belastung des Armes, icht statt. Wohl aber tritt eine solche Subluxation nach unten ein, enn die Muskeln, welche den Arm (in der Ebene des Schulterblattes) eben, atrophisch sind, namentlich wenn die Atrophie den mittleren eil des Deltoides betrifft. Man sieht dann den atrophischen Muskel nd die Haut unter dem Akromion einsinken. Der nächstliegende chluß ist der, daß es die Muskeln sind, welche den Arm entgegen er Schwere in der Pfanne zurückhalten, wenn weder das Lig. coraco- umerale noch ein gegen die Pfanne gerichteter Überdruck der Luft azu mithelfen.

Indessen vertritt Ludkewitsch (1900) die Ansicht, daß beim ebenden und am Muskelpräparat, an welchem der Deltamuskel nicht ntfernt ist, die Entfernung des Humeruskopfes von dem über ihm ge- genen Skelettdach, dem sog. Schultergewölbe, durch die Wirkung des uftdruckes verhindert ist, und daß bei Atrophie der Deltamuskeln ie Abhebung nur deshalb eintritt, weil der Muskel nunmehr schlaff st und bei Verminderung des Druckes zwischen Humeruskopf und chultergewölbe weiter und weiter zwischen beide Teile hineindringen ann. Ohne nun bestreiten zu wollen, daß vorübergehend, namentlich ei plötzlichen abwärtsziehenden Einwirkungen, der Druck zwischen Humeruskopf und dem Schulterdach erheblich absinken kann, möchte ch doch glauben, daß im allgemeinen die Spannung der den Humerus ach oben ziehenden Muskeln so groß ist, daß für gewöhnlich in der ge- annten Zwischenzone (ebenso wie zwischen den Gelenkflächen selbst) er Druck nicht wesentlich kleiner als der Atmosphärendruck ist.

Zur Frage der Wirkung des Luftdruckes am Schulter- gelenk möchte ich noch folgendes bemerken.

Wenn der Humeruskopf durch äußere Kräfte von der Pfanne ab- ezogen wird, ohne daß die Kapsel sich zwischen den Pfannenrändern nd dem Gelenkkopf einstülpt, und ohne daß aus dem peripheren sub- apsulären Gelenkraum Flüssigkeit nachdringt, wenn also die Gelenk- ippen ventilartig an den Gelenkkopf angeschlossen sind, so kann der Druck im zentralen Gelenkraum zwischen Kopf und Pfanne annähernd is auf 0 sinken. Es wirkt dann der Überdruck der äußeren Luft gegen- ber dem Gelenkdruck mit einer gewissen Größe als neue Kraft auf den Humerus in der Richtung der Normalen der Pfannenmitte. Diese Kraft st von Aeby (d. Lb. 3. Bd. S. 131) theoretisch auf 5,8 Kilo, von R. Fick mit 2,7 Kilo berechnet worden. Das Gewicht des ganzen Armes beträgt beiläufig 6,5 Kilo (R. Fick). An einem sorgfältig, ohne Eröff- nung der Synovialhaut hergestellten Gelenkpräparat, welches so auf-

gestellt ist, daß die Pfanne horizontal steht und nach unten sieht, löst sich aber selbst ein stark gekürzter Humerus von der Pfanne ab. Es fehlt eben in Wirklichkeit der genaue ventilartige Anschluß der Gelenklippe, der beim Hüftgelenk am frischen Präparat vorhanden ist. Es kann sich zuletzt (auf einer Seite beginnend) sogar die freipräparierte Gelenkkapsel zwischen den Pfannenrand und den Kopf hineindrängen.

Hat man aber die das Gelenk überschreitenden Muskeln und Sehnen mit dem Humerus in Verbindung und das Gelenkdach intakt gelassen, so unterbleibt bei sonst gleicher Aufstellung die Abhebung, desgleichen wenn am Gelenkpräparat bei erhaltener aber freipräparierter Kapsel der Gelenkrand und Kapselursprung durch eine lose Binde genügend an den Kopf angedrückt wird.

Hier ist offenbar der Ventilverschluß besser gesichert; doch mögen in den umgebenden Teilen auch Kräfte wirksam sein, welche den Kopf direkt gegen die Pfanne pressen und hochhalten. Bei Lähmung des Deltoides genügt wohl das Gewicht des Armes, um den Humeruskopf entgegen dem vollen Überdruck der Luft nach unten vom Akromion etwas abzuziehen, ohne daß sich der Muskel zunächst in den sich vergrößernden Zwischenraum einzuschieben braucht. Allfällige Widerstände des Bindegewebes werden aber erst allmählich überwunden. Im weiteren Verlauf, bei fortschreitendem Absinken und weitergehender Atrophie und Verdünnung des Muskels mag dann wirklich jene Einbiegung des letzteren in den Zwischenraum deutlich werden.

Solange das Vorhandensein eines Unteratmosphärendruckes in dem Schleimbeutel unter dem Schulterdach (Bursa mucosa subacromialis resp. subdeltoidea) beim Lebenden, unter den gewöhnlichen Verhältnissen, beim ruhig hängenden Arm nicht experimentell nachgewiesen ist, halten wir die Lehre von der nützlichen und ökonomischen Wirkung des Luftdruckes zum Tragen des Armgewichtes nicht für bewiesen. Was das Verhalten bei Belastung des Armes und anderen stärkeren distrahierenden Einwirkungen betrifft, so hat man sich zu vergegenwärtigen, daß die Muskeln des Schultergelenkes das 5-, ja das 10mal größere Gewicht des Armes zu tragen imstande sind. Damit ist natürlich nicht geleugnet, daß unter gewissen besonderen Umständen, bei Ermüdung der Muskeln, Erschlaffung aus anderen Gründen, bei übermäßig starken distrahierenden Einwirkungen (insbesondere bei solchen, die schneller bewegend wirken, bevor die Reflexmechanismen in Aktion treten) gerade unter einem steifen Deltamuskel und unter versteiften Kapselteilen ein Absinken des Druckes stattfinden kann, wobei dann natürlich der Überdruck der äußeren Luft sich geltend machen muß.

Es ist klar, daß auf der anderen Seite das Schulterdach (Akromion etc.) auch gegenüber ungewöhnlich großen den Oberarmkopf nach oben treibenden Gewalten einen gewissen Schutz gewährt und eine Barriere darstellt, welche den aufwärts getriebenen Kopf zurückhält.

Die hauptsächliche Bedeutung und der Hauptnutzen des Schulterdaches jedoch, um dessentwillen es, wenn man so sagen darf, zugleich mit der freieren und allseitigeren Aktionsfähigkeit des Armes im Schultergelenk zur Ausbildung gekommen ist, muß offenbar darin gesucht werden

aß in ihm weit über das Gelenk nach außen ragende Ursprungsstellen ir den zum Arm gehenden Deltamuskel geschaffen sind. Eine ähnliche edeutung hat das Vorragen des Proc. coracoides mit Bezug auf die an nm angehefteten Muskeln.

Das Andrängen des Humeruskopfes gegen diese Fortsätze kann ieselben unmöglich so weit auseinander treiben, daß dadurch allein die nspannung des zwischenliegenden Gewebes und die Entwicklung zu nem Band veranlaßt würde. Wohl aber müssen die Weichteile zwischen en Knochenfortsätzen nach oben geschoben und in den Verbindungsnien zwischen beiden Fortsätzen, soweit es an letzteren einen Rückalt hat, besonders gespannt und faserig verstärkt werden. So immt dieses Band (das Lig. coracoacromiale) seiner Entwickng nach eher mit derjenigen der verstärkten Züge einer Faszie, z. B. es Lig. carpi transversum in der Fascia palmaris überein.

ε) Die Luxationen des Schultergelenkes.

An die Besprechung der mechanischen Verhältnisse bei normaler unktion des Schultergelenkes schließt sich aufs engste an die Unterchung der mechanischen Verhältnisse beim Zustandekommen der uxationen, bei den sekundären Umstellungen des luxierten Gliedes nd bei den Maßnahmen zu seiner Reposition. Obschon nun die genannten Verhältnisse beim Schultergelenk vergleichsweise einfach und icht zu übersehen, und obschon die Luxationen des Schultergelenkes eitaus die zahlreichsten unter allen Luxationen sind (so zahlreich als ie Luxationen aller übrigen Gelenke zusammengenommen), so sind sie och nach dem Zeugnis namhafter Chirurgen noch durchaus nicht in der Hinsicht genügend aufgeklärt. Es scheint mir, daß vor allem eine och genauere und vollständigere Analyse der Kräfteeinwirkung in jedem inzelnen beobachteten Fall und namentlich in einzelnen besonders geigneten Fällen Platz greifen sollte. Die Stellung und Bewegung der inzelnen Körperteile zueinander und zur Umgebung, sowie die Art und Angriffsweise der äußeren Kräfte und Widerstände sollten jeweils enauer bestimmt und registriert, womöglich auch durch Zeichnung eranschaulicht werden, und zwar sind außer den Verhältnissen im Moment des Zustandekommens der Luxation selbst (des Kapselrisses nd des Heraustretens des Kopfes aus der Pfanne) auch die sekundären Umstellungen und die dabei wirkenden Kräfte möglichst genau zu beücksichtigen. Außerdem muß man versuchen, die zahlreichen vorandenen Möglichkeiten der Bedingungen zu überblicken und nach estimmten Gesichtspunkten zu klassifizieren. Auf das letztgenannte iel beziehen sich die folgenden Bemerkungen.

Bei den Luxationen sind im allgemeinen äußere Kräfte in hervoragender Weise beteiligt. Es kommen allerdings auch Luxationen vor, ei denen direkte äußere Einwirkungen fehlen (z. B. bei exzessiven Wurfbewegungen oder Muskelkrämpfen).

Der beim Wurf in starke Bewegung versetzte Arm kann in seiner orbewegung und Drehung plötzlich angehalten werden, indem das

Schulterblatt in seiner Vorbewegung vom Rumpf aus plötzlich gehemmt wird, und der Arm im Schultergelenk seine normale Extremlage erreicht in einem Moment, wo noch lebendige Kraft der Drehung des Armes vorhanden ist. Letztere kann nur durch innere Kräfte am Schultergelenk vernichtet werden. Und zwar sind zwei verschieden gerichtete Widerstände nötig, um den effektiven Kräften der einzelnen Massenteilchen des Armes, die man sich zu einer Resultierenden im Trägheitsmittelpunkt vereinigt denken kann, entgegenzuwirken: eine Anspannung der entfernt vom Gelenk angreifenden hinteren und der näher am Gelenk angreifenden vorderen Muskeln. Diese Hemmung kann sich nun als ungenügend erweisen. Es wird dann der Kopf über die Extremlage hinaus noch weiter gedreht und wohl auch mit dem vorderen Pfannenrand als Stütz- und Drehpunkt vom hinteren Pfannenrand abgehebelt. Unter Umständen muß dabei die Kapsel und auch die Muskulatur an der hinteren Seite des Gelenkes einreißen. Wahrscheinlich wird durch die plötzliche Anspannung der entfernt angreifenden hinteren Muskeln die Bildung des Kapselrisses befördert oder doch der Kopf nachträglich durch den Kapselriß nach hinten herausgetrieben. Es entsteht auf diese Weise eine Luxatio posterior.

Meist aber sind es außergewöhnliche äußere Kräfte, welche den Arm über eine Extremlage hinaus weiter drehen. Dabei gesellen sich zu den Kräften, welche an sich eine reine Drehung um eine Achse des Schultergelenkes bewirken, noch Komponenten, welche auf diese Achse selbst wirken und mit demjenigen Anteil, welcher dem Pfannenboden parallel läuft, den Kopf entlang der Pfanne nach der einen oder anderen Seite herausdrängen. So liegen die Verhältnisse, wenn bei ruhendem oder mehr oder weniger festgestelltem Rumpf der Arm von einer äußeren Gewalt ergriffen wird. Es kann aber auch bei einem in Bewegung befindlichen Körper der Arm durch äußere Widerstände festgehalten werden. Auch in diesem Fall kann es zu einer extremen Drehung zwischen Rumpf und Arm und zu einer abscherenden Einwirkung parallel der Pfanne kommen. Was nun die Richtung dieser abscherenden Gewalt anlangt, so sind zwei Hauptfälle zu unterscheiden. Der Humeruskopf kann dem Rumpf gegenüber entweder nach der gleichen Seite hingetrieben werden, nach welcher seine Überdrehung stattfindet, oder nach der entgegengesetzten Seite.

Ersteres ist z. B. das Verhalten, wenn der Körper durch eine enge Luke hinunterfällt und die Arme seitlich hängen bleiben, oder wenn der Rumpf durch seine Schwere oder irgendwelche Widerstände zurückgehalten wird, während die Arme durch eine äußere Gewalt seitlich herum oder emporgerissen werden (Fig. 27B).

Das Entgegengesetzte findet statt, wenn die Gewalt, welche den Arm gegen den Rumpf zu dreht, oder genauer gesagt gegenüber dem Schulterblatt flektiert oder ventral- oder dorsalwärts ablenkt, ihn zugleich in seiner Längsrichtung nach der Pfanne hin drängt (Fig. 27D). Der Arm wird dann durch diese Schubwirkung auf der Pfanne nach derjenigen Seite hinausgetrieben, an welcher sich infolge der Überdrehung die Kapsel spannt und der Kapselriß entsteht. Das gleiche

esultat ergibt sich beim Fall des Körpers auf den seitlich gegen den oden gerichteten Arm, wenn die entgegengesetzte in der Schulter eniger gehemmte Seite des Rumpfes ihre Bewegung nach unten gegen n aufgestützten Arm hin fortsetzt (Fig. 27 A und C). In untenstehen- n Figuren bezeichnen die schwarzen Pfeile die einwirkende äußere ewalt, die roten Pfeile ihren Einfluß zur Drehung des Humerus und re Schubwirkung am Gelenk.

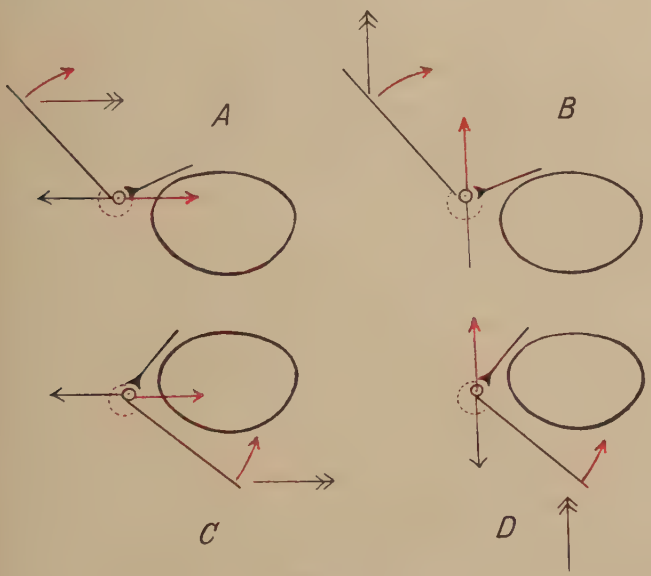


Fig. 27.

In beiden Hauptfällen kann es bei genügender Überdrehung über ie normale Extremstellung hinaus zur Zerreißung der Kapsel kommen, doch reißt wohl die Kapsel am ehesten, wenn der Kopf zugleich mit er Drehung im ganzen nach der Seite der Kapselanspannung aus der fanne herausgeschoben wird. Es wird angegeben, daß der Kapselriß eist in der Nähe des distalen Ansatzes der Kapsel entsteht. Wahr- cheinlich beruht dies darauf, daß hier, über der stärksten Auswöl- ung des Humeruskopfes, die Kapsel auch der Quere nach am meisten edehnt und zugleich verdünnt wird.

Interessant ist, daß gelegentlich das Tuberculum minus oder as Tuberculum majus abgerissen wird, und zwar ersteres bei er vorderen, letzteres bei der hinteren Luxation. Es ist nicht un- öglich, daß dabei neben der Anspannung der Kapsel auch die reflek- orische Anspannung der die Überdrehung hemmenden, nah am Ge- enk sich ansetzenden Muskeln mit im Spiel ist.

Wo ein Kapselriß entstanden ist, tritt wohl in allen Fällen der opf wenigstens teilweise durch den Kapselriß heraus. Wirkt die äußere

Gewalt zugleich zur Verschiebung des Kopfes im ganzen nach der Seite des Kapselrisses hin, so kann dies allein schon das vollständige Hinausschlüpfen des Kopfes durch den Kapselriß und über den Pfannenrand hinüber und die Proximalwärtsverlagerung an den Breitseiten der Scapula zustande bringen. Ja, es kann hierdurch der Humeruskopf sehr weit nach innen gedrängt werden. Namentlich bei vorderen Luxationen gelangt derselbe unter Umständen bis unter die Clavicula nach innen vom Rabenschnabelfortsatz. Man hat sogar beobachtet, daß er durch die Rippenwand hindurchgestoßen wurde. In solchen Fällen war allerdings auch das Lig. coracohumerale zerrissen, das sonst, bei weniger weit gehender Dislokation immer intakt bleibt.

Aber auch da, wo die Verschiebung des Kopfes über den Pfannenrand nicht durch die äußeren Kräfte zustande gebracht, sondern durch sie eher verhindert wird, muß sie unmittelbar nachher durch den Zug der Muskeln herbeigeführt werden. Dislokationen entlang dem Pfannenrand können sekundär durch Änderungen in der Richtung des Armes (Herabsinken infolge der Schwere etc.) herbeigeführt werden. Eine direkte Zerreißung der oberen Kapselwand durch übermäßige Adduktion resp. Axillarflexion des Oberarmes ist nicht möglich, weil letztere nur in dorsalwärts abgelenkter Stellung weiter getrieben werden kann, und wegen der Verstärkung der oberen Kapselwand durch das Lig. coracohumerale.

Das Empordrängen des Kopfes entlang der Pfanne wird durch das Lig. coracoakromiale und Akromion rasch gehemmt, ausgenommen bei sehr großer, emportreibender Gewalt, welche das Akromion abbricht. Dagegen kann die Kapsel hinten unten und namentlich leicht vorn zerrissen werden. Die geringere Stärke der vorderen Kapselwand erklärt wohl genügend, daß vordere Luxationen ungleich häufiger sind als hintere. Am häufigsten entsteht der Kapselriß vorn unten, sei es, weil hier die Bedeckung durch Muskeln fehlt, sei es, weil die äußeren Bedingungen eine Überdrehung im Sinn der Axillarextension am leichtesten entstehen lassen. Der Gelenkkopf kann aber wegen des Ursprunges der Tricepssehne nicht direkt nach unten über den Pfannenrand hinübertreten, sondern gelangt vor der Tricepssehne in das Feld des Axillarrandes der Scapula unter dem Tuberculum infraglenoidale (Luxatio axillaris). Man hat deshalb diese Luxation zu den vorderen Luxationen des Humerus gerechnet.

Bei nicht allzuweit gehender Dislokation des Humeruskopfes bleibt, wie erwähnt, das Lig. coracohumerale (und wohl auch das Lig. glenoideohumerale superius) intakt. Unter Berücksichtigung des erhaltenen Lig. coracohumerale gelingt bei nicht veralteten Luxationen die **Reposition** meist in sehr leichter und eleganter Weise nach dem Kocherschen Rotations-Elevationsverfahren (Kocher 1875). Zunächst muß dafür gesorgt werden, daß die zerrissene Kapselpartie wieder über den Pfannenrand nach außen gebracht und möglichst ausgebreitet wird. Dies geschieht beispielsweise bei der Luxatio anterior superior (praeglenoidea, infracoracoidea) durch „Adduktion" (Ventralbewegung) und

arke Auswärtsrotation des Oberarmes. Sodann wird durch Elevation, ei der genannten Luxation durch Elevation nach vorn, das Lig. coraco- umerale zum Erschlaffen gebracht. Ein Zug in der Richtung des ele- ierten Armes (bei festgehaltener Scapula) entfernt den Humeruskopf om Pfannenrand unter Wiederanspannung des Lig. coracohumerale nd eine geeignete Drehung (Einwärtsrotation bei der genannten Luxa- on) bringt den Humeruskopf über den Pfannenrand hinüber, durch n Kapselriß in die Pfanne, wobei das angespannte Lig. coracohumerale s Drehungsachse benützt wird.

'. Die Verbindung zwischen Schulterblatt und Schlüsselbein.

Schulterblatt und Schlüsselbein sind an zwei Stellen miteinander rbunden,

a) im Akromioklavikulargelenk und
b) in der Syndesmosis coraco-clavicularis.

Beide Verbindungen gehören zusammen, in der einen kann nicht ewegung stattfinden, ohne daß sich zugleich in der anderen eine Be- egung nach dem gleichen Gesetz vollzieht. Durch die eine Verbindung erden deshalb die an und für sich in der anderen Verbindung möglichen ewegungen in erheblichem Maße beschränkt.

α) Das Akromioklavikulargelenk.

Das Akromion bezeichnet die „Höhe der Schulter", soweit das kelett in Betracht kommt. Das Akromion und das Akromioklavikular- elenk sind ebenso wie der Rand der Spina scapulae und das äußere nde der Clavicula unmittelbar unter der Haut zwischen den Vor- ölbungen des Trapez- und des Deltamuskels gelegen. Man kann an er ganzen Leiche und am Lebenden genau die Stelle des Gelenkes estimmen und ihre Veränderung bei den Bewegungen der Schulter eobachten. Die Haut ist hier fester mit der Unterlage verbunden. ei gut entwickeltem Fettpolster kann sie bekanntlich zu einem Grüb- hen eingezogen sein. Drängt man mit Hilfe des dem Leib angeschlossenen rmes das Schulterblatt nach oben oder unten und hält die Clavicula urück, so sieht man auch am Gelenk die Clavicula etwas zurückbleiben; s bildet sich ein mehr oder weniger deutlicher stufenartiger Absturz, er im ersten Fall nach innen, im zweiten nach außen abfällt. Wenn ber die Schulter mit der Clavicula noch stärker emporgehoben wird, o weit, daß sich der Proc. coracoides an der Clavicula anstemmt (s. u.), o wird das Ende der letzteren relativ nach oben gegenüber dem Akro- ion abgehebelt.

In der Mittelzone der Verbindung kann eine einzige Gelenk- palte oder können zwei durch einen Meniscus getrennte Spalten vor-

handen sein; oder es können zwei am Rand gesonderte Spalten in der Mitte in eine zusammenlaufen. Die Polsterung ist jedenfalls ziemlich reichlich und teilweise faserig; die Knochenflächen laufen nach den Rändern auseinander; der geometrische Charakter der freien Oberflächen des Gelenkknorpels ist ziemlich unbestimmt. Von vorn nach hinten ist die ganze Gelenkzone meist etwas nach innen konkav, und es ist namentlich die Gelenkfläche des Akromion meist leicht pfannenartig gehöhlt. Zu der Konkavität in der größeren von vorn nach hinten gehenden Ausdehnung des Gelenkes kommt öfters eine solche von oben nach unten. R. Fick hebt hervor, daß die Trennungsebene des Gelenkes etwas nach innen absteigt. Bezüglich genauerer Angaben über die Anatomie des Gelenkes sei auf sein Lehrbuch verwiesen.

β) Die Syndesmosis coraco-clavicularis.

Der Processus coracoides geht vom oberen Rand der Hauptplatte des Schulterblattes aus, krümmt sich über den oberen Rand des M. sub-

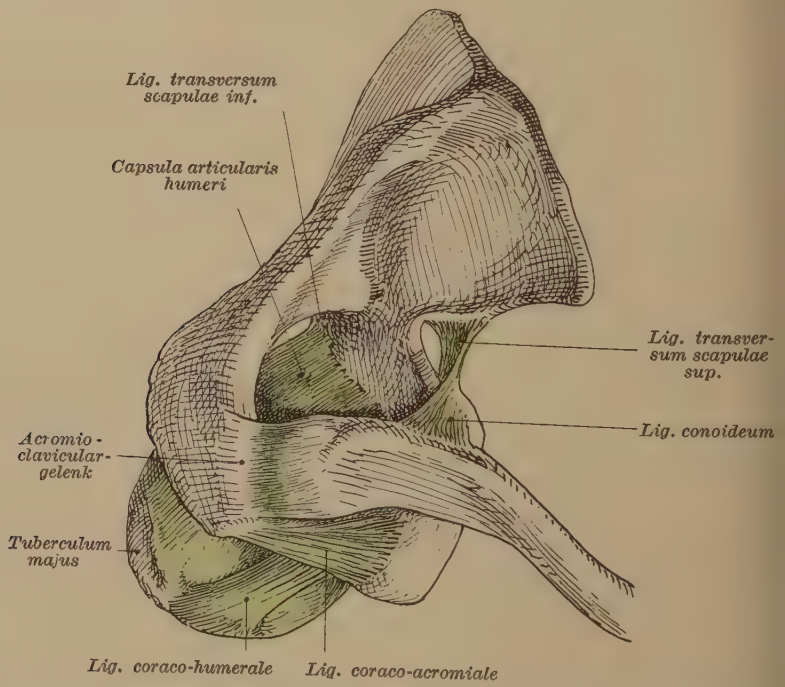
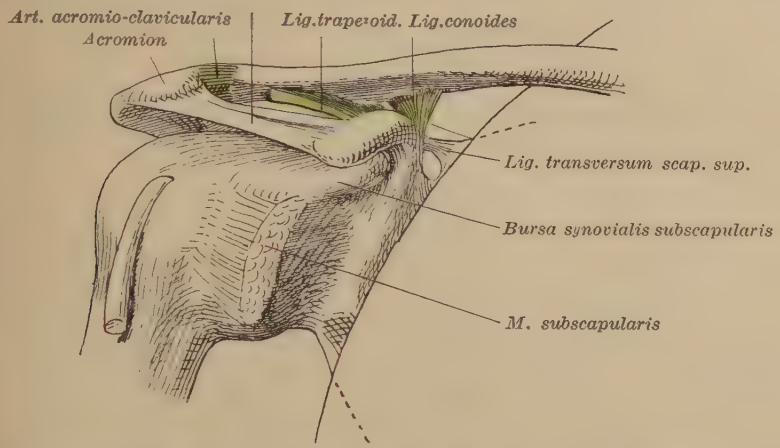


Fig. 28. Schultergelenk und Scapulo-Klavikularjunkturen der rechten Seite von oben. Umzeichnung nach Toldt.

scapularis hinüber und biegt dann in dessen Längsrichtung schultergelenkwärts. Er wird seinerseits von der Clavicula überkreuzt, doch

. daß bei mittlerer Haltung der Schulter zwischen beiden einiger
)stand bleibt. Dieser Abstand wird von den Ligg. coraco-clavi-
ılaria überbrückt. Man unterscheidet ein mediales und hinteres
ig. conoides (conicum) und ein vorderes laterales Lig. trapezoides.
nige Autoren rechnen zum coraco-klavikularen Bandapparat auch
ch die sichelförmig ausgezogene Falte, mit welcher sich die Faszie
s M. subclavius bis zum Processus coracoides hinzieht und an ihm
theftet. (Unserer Meinung nach ist die Existenz und Anspannung
ser Ausbreitung ebensosehr durch die Bewegungen im Sternoklavi-
largelenk, als durch diejenigen zwischen Clavicula und Scapula
dingt.)



g. 29. Schultergelenk und Scapulo-Klavikularjunkturen der rechten Seite von vorn.

Das Lig. conoides geht aus der inneren Peripherie der auf-
eigenden Wurzel des Processus coracoides hervor und inseriert, indem
sich fächerartig namentlich nach außen ausbreitet, an der Clavicula
ahe ihrem hinteren Rand und der stärksten Abknickungsstelle der-
lben. Das Lig. trapezoides schließt sich dem äußeren Teil seines
ächers mehr oder weniger direkt an. Es entspringt von der Umbie-
ngsstelle des Proc. coracoides und von der oberen und äußeren Seite
ines auswärts abgebogenen Teiles und steigt als relativ breite Platte
it äußerer unterer und innerer oberer Breitseite schräg auswärts zur
nterseite der Clavicula empor, zu einem rauhen Feld zwischen dem
nsatz des Lig. conicum und dem Akromioklavikulargelenk (Tuberositas
apularis). Zwischen den beiden Bändern findet sich unter der Clavi-
ıla eine nach vorn und innen offene, mit Fett und weichem Binde-
ewebe gefüllte Nische. Mitunter zeigt sich hier ein Schleimbeutel,
ntsprechend der zeitweise vorkommenden gleitenden Berührung zwischen
er Clavicula einerseits, dem Proc. coracoides und dem Trapezoidband
nderseits. Derselbe ist auch etwa als ein Gelenk aufgefaßt worden.

Außerordentlich detaillierte Beschreibungen dieser Bänder geben Poirier und Charpy sowie R. Fick. Aus ihnen geht hervor, daß mitunter auch im Innern der beiden Bänder Schleimbeutel gefunden werden. Die schräg nach außen, vor der Scapula zur Clavicula aufsteigende Faserung dieser Bänder und namentlich des Lig. trapezoides ist, wie Fick hervorhebt, geeignet, die abscherende Verschiebung der Scapula unter der Clavicula nach innen, welche durch den schrägen Verlauf der akromioklavikularen Gelenkzone erleichtert werde, zu verhindern. Das Trapezoidband entspringt am Proc. coracoides nach außen und erheblich weit nach vorn vom Lig. conicum. Auch an der Clavicula heftet es sich im wesentlichen noch weiter vorn an. Seine hintersten innersten Fasern stoßen an die äußeren und mittleren Fasern dieses Bandes. Das Band steigt nach hinten und außen auf, wenn das Lig. conicum vertikal steht (eine gegenteilige Angabe macht R. Fick, wohl Druckfehler). Auf der verschiedenen Verlaufsweise beruht die Verschiedenheit der Funktion der beiden Bänder. Beim Vorgehen des Proc. coracoides unter der Clavicula spannt sich das Lig. trapezoides, während das Lig. conicum erschlafft. Bei der Rückbewegung des Proc. coracoides findet das Umgekehrte statt.

γ) Normen zur Bestimmung der Stellungen und Stellungsänderungen der Scapula gegenüber der Clavicula.

Die Stellung der Scapula gegenüber der Clavicula ist bestimmt, wenn drei nicht in einer geraden Linie liegende Punkte der Scapula in ihrer Lage zu drei nicht in einer geraden Linie liegenden Punkten der Clavicula (resp. zu den Koordinatenachsen eines mit letzterer starr verbunden gedachten Raumsystems) bestimmt sind. Als gemeinsamen Punkt, welcher sowohl mit der Scapula als mit der Clavicula starr (unveränderlich in seiner Lage) verbunden ist, kann man den Akromialpunkt (Drehungsmittelpunkt des Akromioklavikulargelenks) annehmen. Zur Bestimmung der Lage und Stellung der Clavicula im Raum dient mit Vorteil ihre Längslinie (gerade Verbindungslinie der Mitten ihrer Enden), der Akromialpunkt und der kürzeste Querdurchmesser des Akromialendes, der zur flächenhaften Ausbreitung des letzteren senkrecht steht. Die beiden Geraden sind so gewählt, daß sie sich im Akromialpunkt schneiden; den kürzesten Querdurchmesser wollen wir den „Dickendurchmesser" nennen.

Zur Bestimmung der Stellung der Scapula gegenüber der Clavicula benutzen wir außer dem Akromialpunkt die Gerade, welche den Akromialpunkt mit dem Angulus scapulae verbindet und die dazu senkrecht stehende Gerade, welche den Angulus mit der Spitze des Schulterblattes verbindet und ungefähr der Basis scapulae entspricht. Wir denken uns um den Akromialpunkt als Mittelpunkt eine Kugelfläche gelegt, welche den Angulus scapulae schneidet. Wir versehen diese „Exkursionskugel" mit einem Gradnetz, welches zur Clavicula feststeht. Als Polachse der Exkursionskugel wählen wir den verlängerten Dickendurchmesser des Akromialendes der Clavicula. Die Ausbreitungsfläche der letzteren entspricht der Äquatorialebene. Die Meridiane stehen bei gerader aufrechter Körperhaltung und herabhängendem Arm annähernd vertikal, die Parallelkreise annähernd horizontal.

ie Polachse läßt sich am Lebenden durch einen der Schulterhöhe (Akro-ion) aufgesetzten Stift mit Fußplatte markieren.

Es läßt sich nun der Ort des Angulus scapulae in diesem Grad-tz bestimmen, ferner die Richtung der Basislinie der Scapulae gegen-er dem Meridian des Angulus. Die Basislinie verhält sich nämlich nähernd wie eine Tangente des Anguluspunktes. Damit ist die Lage os ganzen Schulterblattes bestimmt.

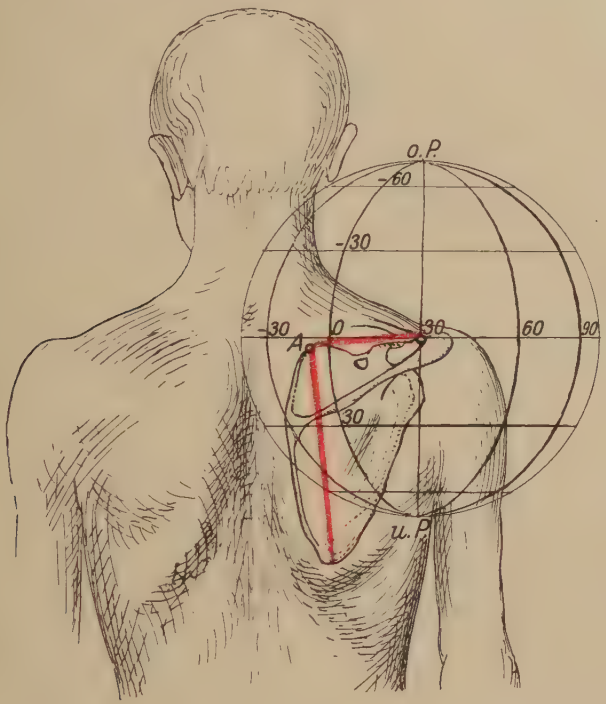


Fig. 30.

Wenn nötig, kann auf der gleichen Exkursionskugel auch noch die Lage der Scapula und Clavicula zum Stamm registriert werden, indem man die größten Kreise aufzeichnet, in welchen die Sagittalebene und die Horizontalebene des Akromialpunktes die Exkursionskugelfläche schneiden.

Die Bestimmung der Stellung hat danach in folgender Weise zu geschehen:

1. Durch Visieren von oben in der Richtung des Dickendurchmessers des Akromialendes (Polachse) läßt sich der Winkel bestimmen, welchen der Längsdurchmesser der Clavicula mit der Meridianebene des Angulus bildet. Wir nennen diesen retroklavikularen Winkel „Öffnungswinkel des Schultergürtels".

2. Der Winkel, den die Akromion-Anguluslinie mit der Ebene der Verbreiterung des Akromialendes (Äquatorialebene) bildet, resp. der um

90^0 verminderte Winkel, den sie mit der Polachse bildet, kann als Maß für die Aufrichtung des Schulterblattes gegenüber der Clavicula betrachtet und als relativer Aufrichtungswinkel der Scapula bezeichnet werden. Man übersieht ihn am besten, wenn man senkrecht zur Meridianebene des Angulus gegen den Akromialpunkt visiert. Steht der Angulus höher als die Äquatorialebene, so ist der Winkel negativ.

3. Die Abweichung der Basislinie gegenüber dem Meridian erkennt man, wenn man in der Richtung der geraden Verbindungslinie des Angulus mit dem Akromialpunkt auf die Basislinie und die Polachse visiert. Die Ablenkung der Basislinie aus dem Meridian nach innen bezeichnen wir als ventrale untere Deklination des Schulterblattes, die entgegengesetzte Ablenkung als dorsale untere Deklination.

Nimmt man die Ebene durch die Polachse und die Längslinie der Clavicula als 0-Meridian, so entspricht die Nummer des Angulusmeridians dem (retroklavikularen) Öffnungswinkel des Schultergürtels, die Parallelkreisnummer, vom Äquator an gezählt, gibt den relativen Aufrichtungswinkel.

Der Änderung des retroklavikularen Öffnungswinkels entspricht eine Drehung des Schulterblattes um die Polachse, parallel der Endverbreiterung der Clavicula, wobei der Processus coracoides unter der Clavicula parallel dieser Verbreiterung im Bogen vor- oder rückwärts geht. Bei einer Änderung des Aufrichtungswinkels hebt oder senkt sich der Angulus scapulae (oberer Basispunkt) im Meridionalkreis gegenüber der Polachse; die annähernd entgegengesetzte Bewegung vollzieht die Spitze des Processus coracoides. Die Bewegung geschieht um eine zum Meridian senkrecht stehende äquatoriale (in die Verbreiterung des akromialen Endes der Clavicula fallende) Achse. Bei der unteren Deklination der Basislinie nach innen nähert sich der unter der Clavicula durchgehende Teil des Processus coracoides der Clavicula, bei der Deklination nach außen entfernt er sich von derselben. Da es sich nur darum handelt, die Stellungen des Schulterblattes zur Clavicula und gröbere Stellungsänderungen eindeutig zu bestimmen, eine genaue Analyse und Zerlegung der drehenden Einflüsse für bestimmte einzelne Stellungen aber nicht in Betracht kommt, so ist es nicht von Belang, daß die genannten drei Drehungen nicht vollkommen senkrecht zueinander geschehen.

Gaupp (1900), Mollier (1899) u. a. haben zur Charakterisierung der Stellung der Scapula gegenüber der Clavicula nur den Winkel zwischen der Spina scapulae und der Längsrichtung der Clavicula (Kleidospinalwinkel) in Berücksichtigung gezogen, was natürlich nicht genügt. R. Fick beachtet die beiden Winkel, welche bei Projektion der Clavicula und einer bestimmten Linie der Scapula (Spina scapulae?) auf die Horizontalebene und auf die Sagittalebene entstehen. Den ersten der beiden Winkel nennt er Horizontalwinkel, den zweiten Sagittalwinkel. Auch diese beiden Winkel genügen nicht zur eindeutigen Charakterisierung der Stellung der Scapula in der Clavikuloskapularjunktur. Bei gleicher Größe des Kleidospinalwinkels ändern sich die beiden Winkel von R. Fick je nach der Stellung der Clavicula und der Spina scapulae zum Stamm. Außerdem weiß man nicht, welches die Richtung der Hauptebene des Schulterblattes zu jener Schulterblattlinie ist. Ferner ist die Längsrotationsstellung der Clavicula nicht berücksichtigt.

ne korrekte Charakterisierung der Stellung der Scapula gegenüber der Clavicula ann, wie man sieht, kaum auf einfachere Weise geschehen als nach unserem orschlag.

δ) Die tatsächlich stattfindenden Exkursionen wischen Scapula und Clavicula und die Inanspruchnahme der Bänder bei denselben.

Prüft man am Bänderpräparat die in der Claviculoskapularverndung möglichen Bewegungen ohne Rücksicht auf die Beeinträchtiung derselben durch den Brustkorb, so findet man folgendes.

1. Bewegung um die Pendelachse und Nebenbewegungen dazu.

Weitaus die ausgiebigste Bewegung ist möglich um die beiden uflhängestellen des Schulterblattes, d. h. um eine Achse, welche durch as Akromialgelenk und durch die coracoklavikularen Bänder geht, so ungefähr mit der Längsrichtung des akromialen Endes der Claicula zusammenfällt. Wir nennen sie „Pendelachse". Um sie kann as Schulterblatt gleichsam nach vorn und hinten pendeln. Alle unkte des Schulterblattes, so auch diejenigen des Proc. coracoides eschreiben dabei um diese Achse Kreisbogen, die im wesentlichen nten herum von hinten nach vorn verlaufen. Bei der Vorbewegung er Scapula richtet sich der Proc. coracoides zugleich mit seiner Spitze ehr nach oben, bei der Rückbewegung mehr nach unten. Die größte xkursion macht natürlich die Spitze des Schulterblattes. Am Akromiolavikulargelenk wird die Kapsel abwechselnd in entgegengesetztem inn torquiert. Die beiden coracoklavikularen Bänder bleiben ziemlich leichmäßig gespannt.

Indem seine Fasern von vorn und hinten gegen die hinteren Teile es Processus coracoides absteigen, muß die Pendelachse näher am rocessus coracoides vorbeigehen und vom Akromialgelenk aus nach nnen absteigen. R. Fick gibt an, daß die typische Achse, um welche ie Hauptbewegung möglich ist, schräg von oben und etwas lateral nd dorsal nach unten und etwas medial- und ventralwärts absteigt. Um dieselbe sei eine Drehung von ca. 90° möglich; um andere Achsen, elche dazu mehr oder weniger senkrecht stehen, sollen sich nur kleinere Drehungen von 10—20° ausführen lassen.

Unserer Meinung nach geschieht die ausgiebigste Bewegung, die ir als Pendelbewegung bezeichnen, um eine Achse (Pendelachse), elche von der Längsrichtung des Akromialendes der Clavicula nach nen zu nur um ein weniges nach unten und vielleicht etwas nach inten abweicht, übrigens ihre Richtung etwas ändert. Bei der Vorbeegung bewegt sich das Schulterblatt mit der vorderen Breitseite und it dem axillaren Rande voraus; es dreht sich wie ein schräggestellter chraubenflügel um die Pendelachse. Nach den von uns aufgestellten

Bestimmungsnormen handelt es sich beim Vorpendeln um Aufdrehung des Schulterblattes im Angulusmeridian, verbunden mit unterer ventraler Deklination der Basislinie und etwelcher Öffnung des retroklavikularen Schultergürtelwinkels.

Man sieht leicht ein, daß eine solche Bewegung vom Schulterblatt am Rumpf bei festgestellter Clavicula nicht rein ausgeführt werden kann. Das Schulterblatt müßte ja beim Vorpendeln in den Thorax hineindringen und sich von ihm beim Rückpendeln abheben. Die Exkursionsmöglichkeit um die Pendelachse (Vorpendeln) kann tatsächlich nur dann voll ausgenutzt werden, wenn einmal das Akromialende aus seiner tiefsten hintersten Lage gegenüber dem Thorax in seine vorderste und höchste Lage vorgeführt und zugleich die Clavicula um ihre Längsachse aufwärts rotiert wird (s. u.). Soll sich dabei das Schulterblatt mit seiner Muskelbepolsterung dem Stamm entlang gleitend verschieben, so müssen außerdem neben der Pendelbewegung noch Drehungen in geringerem Umfang um Achsen stattfinden, welche zu der Pendelachse mehr oder weniger senkrecht stehen. Andere Kombinationen ergeben sich bei der ohne Drehung im Angulusmeridian stattfindenden Vor- und Rückführung resp. Aufwärts- und Abwärtsschiebung des Schulterblattes. Von all diesen Verhältnissen wird später noch die Rede sein. Man erkennt aber jetzt schon, daß es keinen besonderen Wert hat (etwa mit Rücksicht auf die einfachere Beurteilung des Verhaltens der Bänder), überall die Hauptbewegung (Pendelbewegung) und die Nebenbewegungen auseinanderzuhalten. Es ist mindestens ebenso einfach, das Verhalten der Bänder nach der jeweiligen Meridian- und Parallelkreisstellung des Angulus resp. Basispunktes und nach der vorhandenen Deklination der Basislinie zu beurteilen.

2. Bewegung entlang Meridianen und Parallelkreisen der Exkursionskugel.

αα) Bewegung um die Polachse (Änderung des Angulusmeridians).

Bei dieser Bewegung geht der Processus coracoides unter der Clavicula vorwärts oder rückwärts; bei der Vorbewegung richtet sich sein Ende immer ausgesprochener nach außen, während es infolge der Rückbewegung besser direkt nach vorn zeigt.

Alle Punkte der Scapula bewegen sich in Kreislinien, welche der Hauptebene des Akromialendes der Clavicula parallel laufen. Blickt man in der Richtung der Polachse von oben auf den Schultergürtel, so sieht man den Winkel zwischen der Clavicula und der vom Akromion zum Angulus scapulae (oberer Basispunkt) gezogenen Linie (retroklavikularer Schultergürtelwinkel) sich verkleinern, wenn der Processus coracoides nach vorn geht, bei der umgekehrten Bewegung aber sich vergrößern.

Der nach unserem Vorschlag gemessene retroklavikulare Schultergürtelwinkel beträgt bei Ruhestellung der Schulter und herabhängendem

Arm in aufrechter Körperhaltung ca. 90°. Bei der Drehung um die Polachse macht natürlich die Basis scapulae die größten Exkursionen.

Weniger ausgiebig sind die Bewegungen des Proc. coracoides. Seine Vorbewegung (bei Verkleinerung des postklavikularen Winkels) wird durch das Lig. trapezoides, seine Rückbewegung durch das Lig. conicum und zuletzt auch wieder durch das Trapezband gehemmt. Am Akromialgelenk spannt sich bei der Vorbewegung der Basis scapulae (Verkleinerung des Schultergürtelwinkels) die hintere Kapselwand. Doch zeigt sich bei der Verkleinerung des Winkels auch etwelches Rückgleiten des Akromion an der Clavicula, und bei der Öffnung des Winkels etwelches Vorgleiten. Am Präparat ist eine Drehung um die Polachse ungefähr im Betrage von 25—30° (50° nach R. Fick) möglich.

Die Drehung des Schulterblattes, welche zur Verkleinerung des postklavikularen Öffnungswinkels des Schultergürtels führt, ist eigentlich eine Auswärtsrotation des Schulterblattes um die Polachse. Sie kann so weit gehen, daß der Processus coracoides vollständig vorn unter der Clavicula hervortritt; die entgegengesetzte Drehung kann so weit durchgeführt werden, daß die Spitze des Fortsatzes unter die Clavicula zu liegen kommt.

ββ) Drehung des Schulterblattes parallel dem Angulusmeridian.

Das Verhalten der Bänder bei derselben ist natürlich bei verschiedenem postklavikularem Öffnungswinkel des Schultergürtels etwas verschieden. Die Punkte der Scapula bewegen sich in Kreislinien, deren Ebenen zur akromialen Verbreiterung senkrecht stehen und der Akromialpunkt-Anguluslinie parallel laufen, um eine Achse, welche zu dem Angulusmeridian senkrecht steht und in die akromiale Ausbreitungsebene der Clavicula entfällt. Danach läßt sich das Verhalten der scapuloklavikularen Bänder beurteilen. (Diese Drehung ist zum größeren Teil „Pendeldrehung", stimmt aber durchaus nicht vollkommen mit ihr überein; sie ist im allgemeinen auch nicht genau eine Drehung des Schulterblattes parallel seiner Hauptebene um eine dazu senkrecht stehende, durch den Akromialpunkt gehende Achse.) Es ist schwer, für sie einen passenden Namen zu finden.

Am besten wohl spricht man von einem Auf- und Abpendeln des Schulterblattes im Angulusmeridian. Ersteres führt zu besserer Aufrichtung der Haupt- und Mittellinie des Schulterblattes am Stamm, letzteres zu besserer Querrichtung. Was wir unter Aufrichtungswinkel der Akromialpunkt-Anguluslinie verstehen, wurde früher dargelegt.

γγ) Drehung des Schulterblattes um die Akromialpunkt-Anguluslinie.

(Ventral- und Dorsaldeklination der Basislinie gegenüber dem unteren Pol.)

Die innere oder ventrale Deklination führt zur Verkleinerung, die dorsale oder äußere Deklination zur Vergrößerung des unteren Öff-

nungswinkels des Schultergürtels. Alle Punkte des Schulterblattes bewegen sich in Kreislinien um die Akromialpunkt-Anguluslinie. Die betreffenden Kreisebenen stehen im allgemeinen durchaus nicht genau senkrecht zur Ebene der akromialen Verbreiterung der Clavicula. Immerhin kann man sagen, daß sich der Processus coracoides bei der Dorsaldeklination im ganzen von der Clavicula entfernt, bis zur Anspannung der vorderen und hinteren Teile der Ligamenta coraco-clavicularia, bei der Ventraldeklination aber sich im ganzen der Clavicula nähert bis zum Anstoßen. Die Exkursion kann dadurch um ein weniges umfänglicher gemacht werden, daß sich das Akromion an der Endfläche der Clavicula etwas ausgiebiger auf- und abschieben läßt, so daß die Drehungsachse (Akromialpunkt) näher gegen die Ligg. coracoclavicularia rückt.

D. Das Sternoklavikulargelenk und die Clavicula.

a) Bestimmung der Stellungen und Stellungsänderungen im Sternoklavikulargelenk.

Die Clavicula ist im Sternoklavikulargelenk mit dem oberen Rand der Brustwand nahe der vorderen Mittellinie verbunden. Eine vorläufige Orientierung über die von der Clavicula ausgeführten Bewegungen und über die bewirkenden Kräfte lehrt folgendes. Während die Clavicula im Sternoklavikulargelenk festgehalten ist, wird ihr äußeres, mit der Scapula verbundenes Ende durch direkt oder indirekt am Schlüsselbein angreifende Kräfte auf- und ab- und vor- und rückwärts bewegt. Ferner erfährt das Schlüsselbein Druck- und Zugeinwirkung in seiner Längsrichtung. Auch Einflüsse zur Drehung um seine Längsrichtung machen sich geltend und Kräftepaare, welche in Längsebenen des Knochens wirken.

Als Muskeln, welche direkt am Schlüsselbein angreifen und Bewegung desselben im Gelenk hervorrufen können, kommen namentlich in Betracht: an seiner Unterseite der M. subclavius, oben die klavikulare Portion des Trapezius und in unbedeutendem Maße die klavikulare Portion des Sternocleidomastoideus. Auch der M. deltoides und der Pectoralis major können mit ihren Klavikularportionen einen Einfluß haben, doch nicht ohne daß zugleich vom Humerus aus durch das Schultergelenk eine axiale Kraft nach dem Schultergürtel hin wirkt (s. S. 76).

Stellungsänderungen der Längslinie der Clavicula sind innerhalb eines beschränkten Exkursionsgebietes in allen Richtungen möglich. Dabei bleibt die eine Randkante des abgeplatteten äußeren Endes wesentlich nach vorn, die andere nach hinten gerichtet. Doch entspricht streng genommen den verschiedenen Stellungen der Längslinie nicht überall nur eine einzige Längsrotationsstellung. In mittleren Lagen sind vielmehr auch beschränkte Längsrotationen möglich

Wir werden dieselben am besten als Längsrotationen nach hinten und nach vorn (je nach der Bewegung der oberen Seite der Clavicula) bezeichnen. Wenn wir von diesen Längsrotationen absehen und für jede Stellung der Längslinie nur die mittlere Längsrotationsstellung ins Auge fassen, so hat die Clavicula in jeder dieser Stellungen offenbar zwei Freiheiten der Bewegung um zwei zueinander senkrecht stehende Querachsen. Es ist von vornherein wahrscheinlich, daß die direkte Überführung der Clavicula aus einer Mittellage in irgend eine andere Stellung (Radialbewegung) um annähernd quere Achsen erfolgt, während bei der Circumduktionsbewegung ein größerer Betrag von Längsrotation dabei ist.

Schon eine flüchtige Untersuchung des Gelenkes lehrt, daß es nicht wie ein Kugelgelenk gebaut ist, und daß sich die Achsen für die verschiedenen Drehungen kaum alle in einem gemeinsamen Punkte schneiden, das Gelenk sich in dieser Hinsicht vielleicht eher ähnlich einem Sattelgelenk verhält. Für die Bestimmung der Stellungen des Schlüsselbeines können wir aber ohne großen Fehler einen gemeinsamen Drehungsmittelpunkt annehmen. Die Fläche, in welcher das Akromialende verkehrt, ist annähernd eine Kugelfläche; wir können uns dieselbe zur Bestimmung der Stellungen und Stellungsänderungen der Clavicula mit einem Gradnetz ähnlich demjenigen eines Erdglobus versehen denken, welches zum sternokostalen Gelenkkörper feststeht. Die Polachse wird mit Vorteil so gelegt, daß sie nicht in das Verkehrsgebiet des Akromialendes fällt, und ohne Rücksicht auf die spezielle Einrichtung des Gelenkes werden wir sie so legen, daß sie einer der Hauptrichtungen des Stammes entspricht; die Bewegungen des Akromialendes der Clavicula erscheinen in erster Linie als Vor- und Rückwärtsbewegungen, oder als Bewegungen nach oben und unten. Es liegt deshalb nahe, das Gradnetz so zu wählen, daß sich im Verkehrsgebiet von vorn nach hinten und von oben nach unten verlaufende Linien kreuzen; es fragt sich nur, ob man die Polachse vertikal oder dorsoventral nehmen soll. Im ersten Fall handelt es sich bei den von vorn nach hinten verlaufenden Linien des Gradnetzes um Meridiane, bei den von oben nach unten verlaufenden um Parallelkreise; im zweiten Fall sind die von vorn nach hinten verlaufenden Linien die Parallelkreise, sie verlaufen dann horizontal, die von oben nach unten verlaufenden Linien entsprechen den Meridianen. Nach der herrschenden Vorstellung von der Hebung und Senkung des Akromialendes bei Hebung und Senkung der Schulter (die bald mehr seitlich, bald mehr hinten am Thorax liegt), verträgt sich sehr gut, daß als die eine Hauptbewegung die Bewegung in ver-

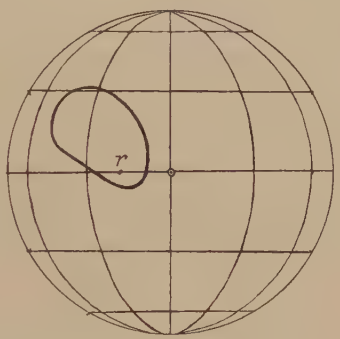


Fig. 31.

tikalen Meridianen gegen einen oberen über dem Sternoklavikulargelenk gelegenen Pol angenommen wird und mit der herrschenden Vorstellung von der horizontalen Vor- und Rückführung der Schulter, daß als zweite Hauptbewegung des Akromialendes seine Bewegung in horizontalen Parallelkreisen zu gelten hat. Ich möchte also der Wahl einer vertikalen Polachse einen kleinen Vorzug geben. Danach ist das Gradnetz der Exkursionskugelfläche zu konstruieren, wie Fig. 31 zeigt.

Bei Annahme einer vertikalen Polachse ist die Stellung der Clavicula im Sternoklavikulargelenk bestimmt:

a) durch den vertikalen Meridian ihrer Längsachse. Die Meridiannummer entspricht dem Winkel, welchen die Meridianebene mit dem frontalen 0-Meridian bildet (Rückführungswinkel);

b) durch den horizontalen Parallelkreis ihrer Längslinie. Die Nummer desselben entspricht dem Winkel, den die Längslinie mit der Horizontalebene des Sternoklavikulargelenks (Äquator der Exkursionskugel) bildet (Erhebungswinkel der Clavicula);

c) durch den Winkel, welchen der kürzeste Querdurchmesser des Akromialendes (Dickendurchmesser) mit dem Meridian der Längslinie bildet. Die Clavicula ist um die Längsachse rückwärts gedreht, wenn dieser Dickendurchmesser aus dem Meridian oben nach rückwärts abweicht; im entgegengesetzten Fall handelt es sich um eine Längsrotation nach vorn. Die Bezeichnung richtet sich nach dem Verhalten der sichtbaren oberen Breitseite des Akromialendes.

All den vorgeschlagenen Bezeichnungen ist übrigens eine aufrechte Haltung des Stammes und Thorax zugrunde gelegt.

Die Differenz der drei korrespondierenden Winkel, welche zur Bestimmung zweier verschiedener Stellungen der Clavicula dienen, gibt an, um wieviel die Clavicula gegenüber der Äquatorialebene gehoben oder gesenkt, um wieviel sie um die Polachse vor- oder rückwärts gedreht und um wieviel sie um ihre Längslinie zurück- oder vorgedreht werden müßte, um aus der ersten Stellung in die zweite zu gelangen. Die Reihenfolge der Drehungen ist gleichgültig.

Die drei Arten der Drehung stehen natürlich für eine bestimmte Ausgangsstellung nicht senkrecht zueinander. Käme man je in den Fall, eine genaue rechtwinklige Zerlegung vorzunehmen (Zerlegung einer instantanen Drehung oder Zerlegung der Drehungseinflüsse, die in einer bestimmten Ausgangs- oder Durchgangsstelle wirksam sind), so müßte man statt der circumpolaren Vor- oder Rückführung die circumzentrale Drehung in dem größten Kreis, welcher zum Meridian senkrecht steht, berücksichtigen.

β) Exkursionsmöglichkeiten, Exkursionsgrenzen und Verkehrsgebiet der Clavicula im Sternoklavikulargelenk.

Nach Waldeyer (1861) beschreibt die Clavicula, wenn man sie als geraden Stab betrachtet, bei weitester Circumduktionsbewegung mit ihrem äußeren Ende einen nach außen offenen Kegel, dessen Basis

von einer mit dem größeren Durchmesser aufrechtstehenden Ellipse begrenzt wird.

Nach Mollier (1899) verläuft der größere Durchmesser der Ellipse annähernd horizontal von vorn nach hinten.

Nach unserer Schätzung entspricht das Verkehrsgebiet des Akromialendes der Clavicula ungefähr dem in Fig. 31 gegebenen Kartenbild an der äußeren hinteren Seite der Exkursionskugel. Das Akromialende beschreibt bei extremer Circumduktion (Grenzbewegung, R. Fick) ein Oval, dessen größere Achse vorwärts absteigt. Die untere Langseite ist in der Mitte etwas gestreckt. In der Ruhestellung befindet sich das Akromialende nahe über dem unteren Punkt der Grenzlinie, etwa im Punkte r.

Der ganze Umfang der möglichen Hebung resp. Senkung der Längslinie beträgt ca. 60° nach Albert, weniger als 50° nach R. Fick. Das äußere Ende bewegt sich über 8—9 cm nach R. Fick, nach Mollier über 10 cm. Der Gesamtbetrag der möglichen Rückführung resp. Vorführung ist 20—25° nach Schönhausen, 28° nach R. Fick, 35° nach unserer Schätzung (beim Lebenden). Am Bänderpräparat ist er erheblich größer. Nach Mollier macht das äußere Ende eine Exkursion von 12 cm am Bänderpräparat, von 6—7 cm am Lebenden.

In den mittleren Stellungen der Clavicula sind kleine Rotationen um die Längsachse möglich; den Grenzlagen entsprechen wegen der Anspannung der Bänder nur bestimmte Längsrotationsstellungen, und zwar nach den Untersuchungen von Mollier in den oberen und vorderen Grenzlagen vorwärtsrotierte Stellungen der Clavicula bis zu 30° Vorwärtsrotation, in den hinteren unteren Grenzlagen leicht rückwärtsrotierte Stellungen. Die Längsrotationsstellungen in den mittleren Lagen hängen im wesentlichen von der Stellung des Schulterblattes ab und sind durch die unmittelbar an der Clavicula direkt angreifenden Muskeln kaum beeinflußbar.

γ) Kräfte zur Bewegung des Schlüsselbeins.

Das Schlüsselbein bildet verhältnismäßig selten direkte Angriffspunkte für Kräfte, die von außen auf den Körper einwirken (geschultertes Gewehr, Tragriemen) und hat namentlich als Muskelhebel, dessen Bewegung direkt durch die an ihm angreifenden Muskeln bewirkt wird, keine große Bedeutung. Seine Bewegungen sind ihm wesentlich vom Schulterblatt übermittelt und aufgezwungen. Von Muskeln, welche bloß das Sternoklavikulargelenk überspringen, haben wir einen einzigen Repräsentanten im M. subclavius.

Betrachten wir die Gelenke des Stammes als festgestellt, so ist auch die Portio clavicularis des Sternocleidomastoideus ein eingelenkiger Muskel des Sternoklavikulargelenkes. Seine Wirkung zur Bewegung der Clavicula kann aber füglich vernachlässigt werden. Nicht dasselbe gilt für die Klavikularportion des Trapezius, welche bei festgestellten Stammgelenken als kraftvoller Heber und Rück-

zieher der Clavicula im Sternoklavikulargelenk in Betracht kommt. Daß die Nachbarteile des Muskels in der Regel zugleich am Schulterblatt in ähnlicher Weise wirken, ändert hieran nichts. Als direkt am Schlüsselbein angreifende Muskeln sind endlich noch die Klavikularportionen des großen Brustmuskels und des Deltamuskels zu nennen. Bei festgestelltem Stamm, aber freier Bewegung im Schultergelenk wirken sie indirekt hebend auf das Akromialende.

Es ist ja klar, daß Muskeln, welche zwischen zwei gelenkig verbundenen Hebelarmen ausgespannt sind, nach beiden Seiten wirken, und daß beide Hebelarme ihre Stellung ändern müssen, wenn sie nicht durch besondere Kräfte festgestellt sind. Ist der eine Hebelarm an seinem vom Gelenk entfernten Ende gehemmt oder festgehalten und verhindert, sich nach der Seite des Muskels zu bewegen, so ist das Gleichgewicht der inneren Bewegung gestört. Die Bewegung der Gelenkenden in der Richtung vom Muskel weg, die schon beim freien System vorhanden ist, bekommt nun das Übergewicht und es wird auch der freie Hebelarm in diese Bewegung in größerem Umfang hineingezogen; der Gesamtschwerpunkt des betreffenden Hebelsystems erfährt eine Beschleunigung nach dieser Seite (s. Straßer, Grundbedingungen der aktiven Lokomotion, 1880). Durch die Kontraktion der Klavikularportionen des Delta- und großen Brustmuskels bei freiem Arm muß also die Schulter emporgehebelt, das Schlüsselbein mehr aufgerichtet werden, vorausgesetzt, daß Schulter und Arm bereits durch andere Kräfte im wesentlichen schwebend gehalten sind. Es kann dabei durch Erhebung der Schulter der Schwere gegenüber Arbeit geleistet werden. Die Clavicula wirkt hier wie eine Ruderstange, welche am Thorax ihren Widerstand findet.

Auf den Schulterarmkomplex einerseits, den Rest des Körpers andererseits wirken äußere Kräfte, die sich bei Feststellung des Ganzen Gleichgewicht halten.

Für die Bewegung und für die Feststellung der Schulter und des Schlüsselbeins gegenüber dem Stamm kommen außer den genannten Muskeln auch noch die Muskeln in Betracht, welche zwischen dem Stamm einerseits, dem Schulterblatt und Arm andererseits ausgespannt sind. Bei der Feststellung der Klavikulargelenke müssen natürlich auch die inneren Widerstände im Gelenk berücksichtigt werden. Bei festgestelltem Arm oder festgestelltem Schulterblatt ist es der Stamm, welcher der Schulter gegenüber unter dem Einfluß äußerer Kräfte bewegt werden kann, das Schlüsselbein im Sternoklavikulargelenk mitnimmt und eine Stellungsänderung desselben dem Stamm und dem Schulterblatt gegenüber herbeiführt.

Falls der Arm und das Schulterblatt die besser festgestellten Teile sind, muß durch die Verkürzung der Stamm-Schulter- oder Stamm-Armmuskeln der Brustkorb in einer bestimmten Richtung gegenüber dem Schulterblatt und der Clavicula bewegt und mehr oder weniger direkt an diese Teile herangezogen werden, wobei das Sternoklavikulargelenk in bestimmter Richtung ausweichen muß. Bei symmetrisch übereinstimmender Aktion auf beiden Seiten kann der Brustkorb zwischen den Schultern nur in sagittaler Richtung nach oben, unten, vorn oder hinten gehen, indem das Sternoklavikulargelenk im gleichen Sinn ausweicht. Eine bloße Hebung der Rippen gegenüber dem mit der Schulter festgestellten Schlüsselbein und Brustbein kann im wesentlichen nur durch Rippenschulterblatt- und Rippenarmmuskeln

nterer Teil des großen Brustmuskels, Pectoralis minor, Serratus ant. nd Latissimus dorsi) zustande gebracht werden. Der M. subclavius ielt hierbei kaum eine Rolle.

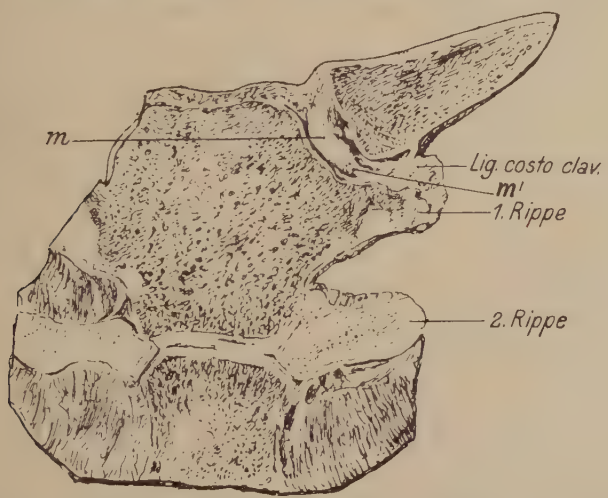
Von den Einflüssen, welche das Schlüsselbein gegenüber dem horax bewegen, sind offenbar die von dem Schulterblatt her über-agenen Krafteinwirkungen die wichtigsten. Die direkte Aktion der n Schlüsselbein angreifenden Kräfte fällt ihnen gegenüber wenig ins ewicht, und soweit sie vorhanden ist, kommt (abgesehen vielleicht m Sternocleidomastoideus) ein längsrotatorisches Moment kaum in tracht. Bei der Vor- und Rückführung des Schulterblattes am Thorax, wie bei der Hebung und Senkung wird das Schlüsselbein ohne Längs-chung mitgenommen und nur bei den Drehungen des Schulterblattes seiner eigenen Ebene um das Akromialgelenk muß man a priori auf e Möglichkeit eines beschränkten längsrotatorischen Einflusses auf s Schlüsselbein gefaßt sein.

Diesen Anforderungen ist offenbar das Sternoklavikulargelenk in llem Umfang angepaßt.

δ) Anatomie und Entwicklung des Sternoklavikulargelenkes.

1. Zweikammerigkeit. Meniscus.

Im Sternoklavikulargelenk verbindet sich das sternale, innere, empel- oder köpfchenartig verdickte Ende der Clavicula mit dem



ig. 32. Flachschnitt durch das obere Ende des Brustbeins und das rechte Sterno-lavikulargelenk. Vordere Schnittfläche. *m* Meniscus. Vor der unteren Anhef-ung des Meniscus *m'*, die vom Schnitt nur im vorderen Rand getroffen ist, kom-unizieren im gezeichneten Präparat die innere und äußere Gelenkspalte mit-einander. Von der Hauptspalte zweigen verschiedene Nebenspalten ab.

oberen Umfang der vorderen Thoraxwand nahe der vorderen Mittellinie. Das Manubrium sterni überragt die Sternalenden der ersten Rippenknorpel nach oben. Der dadurch gebildete seitliche Winkel bildet eine Art Pfanne für das Köpfchen des Schlüsselbeins; doch überragt letzteres selbst wieder den oberen Rand des Manubrium. Ein Sägeschnitt, welcher das Gelenk in eine vordere und hintere Hälfte trennt (Fig. 32), zeigt am besten, daß das Gelenk durch eine (faserknorplige) Zwischengelenkschicht in zwei Kammern getrennt ist. Indem der Meniscus unten an das Ende der ersten Rippe festgewachsen, oben aber zusammen mit der oberen Kapselwand an der Clavicula befestigt ist, erstreckt sich die innere Gelenkkammer wesentlich nur entlang dem Seitenrande des Manubrium sterni, während sich die äußere Kammer entlang der inneren Endfläche der Clavicula ausbreitet und, um deren Unterkante herumbiegend noch eine Strecke weit zwischen Clavicula und Rippenknorpel nach außen geht. Doch kommt es vor, daß auch der Meniscus sich noch eine Strecke weit am Rippenknorpel nach außen erstreckt, wobei dann auch die innere Kammer unten weiter nach der Seite reicht.

2. Entwicklung des Sternoklavikulargelenkes.

Die Clavicula legt sich zum großen Teil als Hautknochen an, entlang der schärfsten Hauteinknickung zwischen dem schmalen Teil des Halses und der Schulter. Zwischen der Clavicula und dem Sternum findet sich eine reichlichere Zwischenmasse von skeletogenem Gewebe, der Anlage entsprechend, aus welcher bei manchen niederen Säugetieren und bei ursprünglichen Reptilienformen teils der Episternalapparat, teils das sog. „Präclavium" Gegenbaurs hervorgehen. Die Ausentwicklung dieser Anlage ist beim Menschen zeitlich verzögert und durch die stärkere Entfaltung und mechanische Beanspruchung der Clavicula als bewegliche Sperrstange unterdrückt; immerhin wird gerade durch den Hinblick auf die selbständige Festigung dieser Anlage bei ursprünglicheren Tierformen verständlich, daß die gegeneinander grenzenden Teile der Clavicula und des Brustkorbes sich erst relativ spät und nur unvollkommen zueinander konform gestalten und noch relativ spät, bei beginnender Gelenkspaltenbildung durch eine umfänglichere und relativ feste Zwischenzone getrennt sind. Man hat in dem Meniscus des Sternoklavikulargelenkes geradezu das Homologon des Präclavium der niederen Tiere zu erkennen geglaubt (Gegenbaur). Man kann sich ja fragen, ob nicht diese Zwischenzone von vornherein eine besondere Neigung zur geweblichen Festigung in einem intermediären Bezirke besitzt.

Andererseits ist aber zu bedenken, daß diese Anlage in Anbetracht der besonderen örtlichen Verhältnisse sicher schon frühzeitig in eigenartiger Weise mechanisch in Anspruch genommen ist. Für die wirkliche Sonderung und Abspaltung eines Meniscus und dessen faserknorplige Umwandlung geben wohl die besonderen mechanischen Momente eine genügende Erklärung.

Eine bestimmte charakteristische Gestalt und Krümmung der gegeneinandersehenden Oberflächen der Skelettstücke, welche einigermaßen der späteren Gelenkkörperform und Gelenkflächenkrümmung entspricht, ist im allgemeinen bei der Ausbildung der Gelenke, schon vor dem Auftreten der Gelenkspalten deutlich (s. I. Bd. d. L. S. 91). Hier ist jedenfalls die dem Rand des Thorax folgende, der Clavicula zugekehrte Konkavität des sternokostalen Skelettlagers frühzeitig ausgeprägt, ebenso wie eine ihr entsprechende Rundung des sternalen Ende

r Clavicula. In der dazu senkrechten Richtung dagegen ist von vorn-
rein eine aufwärts gerichtete Konvexität über den thorakalen Gelenk-
md hinüber gegeben.

Die zwischen die Clavicula und den Thoraxrand eingeschobene
ichere Zwischenmasse zeigt nun wohl von vornherein eine geringere
rschieblichkeit entlang der Ebene des von der ersten Rippe und
m Manubrium sterni gebildeten Pfannenwinkels, als in dazu senk-
hter Richtung. Es ist daher verständlich, daß bei den ersten Dre-
ngen der Clavicula nach oben und unten, welche in der Ebene dieses
inkels erfolgen, die Zwischenmasse gleichsam eingeklemmt und fest-
halten wird. Das Sternalende der Clavicula bleibt ebenfalls im Pfannen-
nkel gefangen und muß sich um eine durch ihr Köpfchen gehende
hse drehen. Die Trennungsebene für die Auf- und Abbewegung
rd demnach, so muß man erwarten, nach der Clavicula konkav
d dem Pfannenboden in der Richtung von innen nach außen einiger-
ßen parallel sein und sie wird sich näher an der Clavicula, zwischen
r und der Zwischenmasse bilden.

Die Zwischenmasse kann von der Clavicula mitgenommen und
s dem Pfannenwinkel etwas herausgedrängt werden, so daß hier die
dingungen für eine Abspaltung der Zwischenmasse vom festen Pfannen-
den und namentlich am Sternum gegeben sind. Die nach der Pfanne
n wirkenden, die Zwischenmasse komprimierenden Kräfte sind ge-
ger, die Mitbewegung der Zwischenzone quer über den Rand ist
niger gehemmt. Man versteht also, daß näher am Thoraxrand, im
neren resp. untersten Teil der Zwischenzone eine neue Spaltbildung
ftritt, und daß dieselbe mehr oder weniger deutlich nach dem Thorax-
nd zu konkav gekrümmt ist. Bei stark gesenkter Clavicula, wenn
tztere durch die erste Rippe außen am Gelenk in breiterer Fläche
hemmt ist, möchte allerdings ihr innerstes Ende in umgekehrtem
nn wie der äußere Teil bewegt und bei der Rückführung der Clavicula
ach vorn, bei ihrer Vorführung zurückgehebelt werden. Für die mitt-
ren Stellungen dagegen, die doch wohl in erster Linie bei der Gelenk-
sbildung maßgebend sind, liegt ein Grund für eine solche ent-
gengesetzte Bewegung nicht vor.

3. Verlauf und Krümmung der Gelenkspalten.

Die Ebene des Pfannenwinkels steht nun nicht genau frontal.
ementsprechend krümmt sich die Gelenkfläche am Sternalende der
avicula nicht genau von der Innenseite auf die untere Peripherie
rum. Das Hauptprofil der betreffenden Krümmung verläuft viel-
ehr in einer nach vorn und etwas nach außen absteigenden Ebene.
e dazu senkrecht stehende, quer über den Pfannenrand gehende Krüm-
ung müßte demnach etwas nach innen zu absteigend nach hinten
rlaufen. Berücksichtigt man dies, so findet man in der Tat am inneren
nde der Claviculae in der Regel die doppelte Krümmung der Gelenk-
che, der Theorie entsprechend, nämlich eine ausgesprochene untere
onvexität in der Ebene des Pfannenwinkels und eine schwach an-

gedeutete innere (und untere) Konkavität am inneren Teil der Gelenkfläche, senkrecht zu der erstgenannten Krümmung.

Es gibt Fälle, in welchen die Sattelform der klavikularen Gelenkfläche auffällig deutlich ausgesprochen ist, indem der hintere und vordere Rand in der ganzen Ausdehnung deutlich vorragen, so daß zwischen ihnen eine Rinne gebildet ist, deren Grund sich von der Innenseite des Sternalendes an die Unterseite herumkrümmt. Es erscheinen dann der Rand des Brustbeins und des ersten Rippenansatzes in diese Rinne wie eingefalzt. In anderen Fällen ist die quere Konkavität des Sternalendes nur an dessen unterer Peripherie ausgeprägt. Mitunter fehlt sie sogar auch an dieser Stelle.

Bei deutlicher Sattelform der klavikularen Gelenkfläche findet sich auch an der sternokostalen Gelenkfläche eine deutliche Konvexität über den Rand hinüber; sie kann aber auch noch angedeutet sein, wenn die antero-posteriore Aushöhlung an der Clavicula mangelhaft entwickelt ist. Es ist anzunehmen, daß in einem solchen Fall eine Aushöhlung an der sternalen Seite des Meniscus gegeben ist, der vordere und der hintere Rand des letzteren verdickt sind. Wo die klavikulare Gelenkfläche auch von vorn nach hinten ausgesprochen konvex ist, muß wohl die Clavicula bei der Vorführung am Meniscus nach hinten ausgleiten, sich demselben gegenüber also um eine nach außen vor der Gelenkspalte befindliche Achse drehen, während ihr inneres Ende immer noch zusammen mit dem Meniscus auf der sternokostalen Gelenkfläche in kleinerem oder größerem Betrag nach vorn gleitet.

4. Kapsel und Bänder. Bewegungsbeschränkung.

Die Gelenkkapsel ist vorn zum Lig. sternoclaviculare anterius verstärkt, welches Band von der Clavicula aus mit vorzugsweise einwärts absteigenden Fasern vor dem Meniskus und dem Sternalansatz des ersten Rippenknorpels vorbei, zur Vorderfläche des Sternum zieht und sich dabei fächerförmig ausbreitet.

In der hinteren Kapselwand begegnen wir einem ähnlich verlaufenden und sich ausbreitenden Lig. sternoclaviculare posterius. Besonders wichtig aber ist das Lig. sternoclaviculare superius, welches teils am oberen Rand des Manubrium sterni festgeheftet ist, teils mit oberflächlichen oberen Fasern (Lig. interclaviculare) anscheinend in einem Zuge über diesem Rand von einer Clavicula zur andern hinüberzieht, und sodann das Lig. costoclaviculare, welches außen am Gelenk, und zwar außen am unteren Teil der lateralen Gelenkkammer zwischen der Clavicula und der ersten Rippe ausgespannt ist. Die mächtige Faserung des letztgenannten Bandes verläuft schräg von unten und innen vorn nach oben außen und hinten von der Rippe zur Clavicula.

Am Bänderpräparat konstatiert man, daß die Clavicula aus ihrer tiefsten Lage bei der Einwirkung rückführender Kräfte allmählich nach hinten, bei der Einwirkung direkt vorführender Kräfte aber rasch und im Bogen nach vorn in die Höhe steigt. Im letzteren Fall wird

ie direkte Vorbewegung der Clavicula im Gelenk gehemmt durch ruckwiderstand in der vorderen Peripherie des Gelenkes und durch ie Anspannung der hinteren Kapselwand mit ihren Verstärkungs

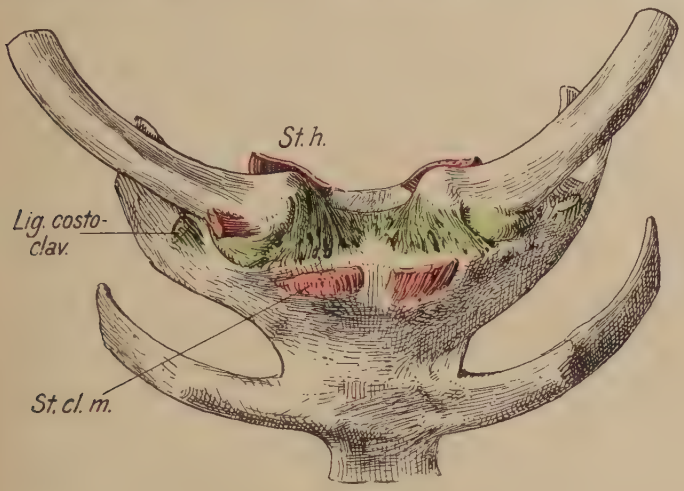


Fig. 33. Sternoklavikulargelenke von vorn.

Fig. 34. Sternoklavikulargelenke von hinten.

asern. Die Bewegung der Clavicula nach oben und nach oben und enig nach hinten kann beim Lebenden besonders weit getrieben werden ei an den Leib geschlossenen Armen (Achselzucken). Es schmiegt sich

dann die innere Krümmung der Clavicula eng an die Seite des Halsstammes. Für die schließliche Hemmung der Bewegung nach oben vorn und oben hinten ist im Gelenk selbst ein kräftiger Hemmungsapparat gegeben in dem Widerstand des inneren oberen Teiles der Pfanne gegen das Anstemmen der Clavicula, welches namentlich auch durch den Meniscus hindurch gegen den Seitenrand des Manubrium sterni stattfindet, und durch die Anspannung des außerordentlich kräftigen Lig. costoclaviculare an der Außenseite des Gelenkes.

Anscheinend ebenso kräftig, aber durchaus nicht immer genügend ist die Hemmung im Gelenk gegenüber der Abwärtsbewegung der Clavicula. Hier stemmt sich der untere Umfang des Sternalendes der Clavicula gegen die Pfanne und um diesen Stützpunkt wird das innerste Ende des Knochens emporgehebelt. Das Lig. interclaviculare und der nahe dem oberen Rande des Sternalendes festgeheftete Meniscus leisten durch ihre Spannung Widerstand. (Der Meniscus wirkt hierbei annähernd wie ein Band, welches vom Boden der Pfanne dicht innen an der Endfläche der Clavicula herum zu seinem oberen Rande aufsteigt.) Der Widerstand kann aber bei stärkerer äußerer Gewalt überwunden werden, so daß die Clavicula luxiert wird. Es kann aber auch der äußere Stützpunkt nachgeben, unter Abscherung des inneren Endes der ersten Rippe, welche den Stützpunkt abgibt, gegenüber dem Brustbein nach unten (Mollier).

Indem sich bei der Abwärtsbewegung der Clavicula mit der oberen Kapselwand auch die von einer Clavicula zur anderen gehenden Fasern des Lig. interclaviculare anspannen, ist ein bewegender Einfluß auf die Clavicula der anderen Seite möglich, namentlich auf ein durch Schlüsselbeinfraktur beweglich gewordenes inneres Schlüsselbeinende (R. Fick). Ein nach oben luxiertes Schlüsselbein kann sekundär mit seinem sternalen Ende vor den Brustbeinhandgriff treten (Stetter, s. R. Fick, Handb. III, S. 215) infolge des Zuges des großen Brustmuskels (unterer Teil) und des M. subclavius.

Die Beschränkung des Verkehrsgebiets nach unten hinten könnte zu der Vermutung Anlaß geben, daß die Clavicula außerartikulär durch Anstoßen an die erste Rippe in ihrer Exkursion beschränkt wird. Dem ist aber nicht so. Höchstens kann von einem Anstemmen unmittelbar nach außen vom Gelenk im Bereich des Lig. costoclaviculare die Rede sein und auch dieses ist nach R. Fick nur beim Bänderpräparat, nicht am Lebenden der Fall. Auch bei stärkster Rückführung in möglichst tiefer Lage kommt nach meiner Beobachtung am Bänderpräparat der innere Teil der Clavicula außerhalb des Gelenkes nur der ersten Rippe mehr und mehr parallel zu liegen, ohne sie zu berühren. (Er geht übrigens auch recht nahe an der zweiten Rippe vorbei.) In Fig. 35 ist das Feld der Thoraxwand, welchem die Clavicula nahekommt, durch Schraffierung dargestellt.) Die Hemmung erfolgt allein im Gelenk selbst und seinen Bändern.

Die Meinung von H. Meyer u. A., nach welcher die erste Rippe Leit- und Gleitbahn für die Clavicula ist, kann also nicht richtig sein. Übrigens kann die Clavicula unter normalen Verhältnissen unmöglich so nahe an der ersten Rippe nach hinten und aufwärts geführt werden wie am Bänderpräparat, weil solches notwendigerweise zur

Quetschung der zwischen inne liegenden Weichteile führen müßte, wie Büdinger und Kron durch besondere Versuche demonstriert haben (s. R. Fick). Man wird also wohl annehmen müssen, daß die Exkursion nach der ersten Rippe und den zu ihr absteigenden Muskeln (Scaleni) hin normalerweise durch die Muskeln beschränkt ist.

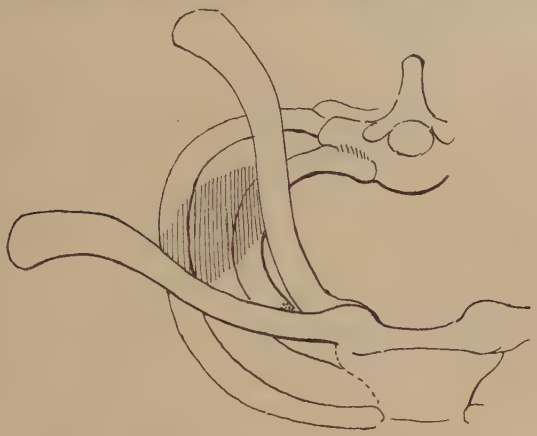


Fig. 35.

Die Annäherung der Clavicula an die erste Rippe gegen die Scaleni und das untere Ende der Halswirbelsäule kommt namentlich in Frage bei stärkster aktiver oder passiver Vorhebung des Armes in der Sagittalebene. Unter normalen Verhältnissen macht die betreffende Muskelkontraktion im richtigen Augenblicke halt und greifen wohl auch die Antagonisten hemmend ein. Bei Lähmung der Muskulatur kann aber der Arm mit dem Schulterblatt und der Clavicula noch weiter durch äußere Kräfte passiv zurückgeführt werden.

Durch forcierte aktive oder passive Senkung und Rückbewegung des Schlüsselbeins kann der Puls der Arteria radialis zum Verschwinden gebracht werden, wie R. Fick meint, wegen der Kompression der A. subclavia zwischen der Clavicula und der ersten Rippe.

Wie Gaupp gezeigt hat (1894), kann ferner durch eine übermäßige Zurückführung der Clavicula gegen den unteren Umfang der Scaleni und gegen die erste Rippe der aus dem fünften und sechsten Cervikalnerven stammende, aus dem Scalenusschlitz hervortretende obere Wurzelstamm des Plexus brachialis komprimiert und geschädigt werden. Solches ist öfters beobachtet worden bei Chloroformnarkose, wenn der Patient mit stark nach oben gehobenen, resp. bei der Rückenlage, wenn er mit nach hinten herübergelegten Armen längere Zeit dagelegen hat (Narkoselähmung der betreffenden Nerven). Am Bänderpräparat tritt dann allerdings, bei weitergehender Bewegung der Clavicula im angedeuteten Sinne, eine nicht besonders sichere und kraftvolle passive Hemmung im Gelenk ein (Anstemmen hinten, Anspannung der vorderen Kapselwand).

Von anderen Veranlassungen zu der sog. Erbschen Lähmung, welche durch Schädigung unterer Halsnerven herbeigeführt wird, sind namhaft gemacht worden (vgl. R. Fick): Ziehen am vorgelagerten Arm des Kindes bei der Geburt, Erheben des Kindes an einem Arm, Fall auf den vorgestreckten Arm oder nach vorn auf die Schulter, längeres Liegen mit dem Kopf auf der hochgezogenen Schulter im Schlaf; — andererseits anhaltendes Tragen schwerer Lasten auf der Schulter, namentlich der stark rückwärts gezogenen Schulter. Wahrscheinlich liegen hier nicht immer die gleichen Verhältnisse vor, indem das eine Mal das Schlüsselbein mehr gegen die untersten Halswirbelquerfortsätze, das andere Mal mehr gegen den hinteren Teil der ersten Rippe angedrängt wird.

ε) Die mechanische Inanspruchnahme der Clavicula.

Passive Hemmung der Exkursion im Gelenk.

In den bis jetzt besprochenen Fällen der genügenden oder ungenügenden passiven Bewegungshemmung im Gelenk wirken im wesentlichen zwei Kräfte d und s (Druck- und Zugkraft) einer außen an der Clavicula in a angreifenden, mehr oder weniger senkrecht zur Clavicula gerichteten Kraft k entgegen.

Man könnte sich zwei Kräfte k und −k am Sternalende o des Schlüsselbeins hinzugefügt denken, ohne daß dabei am Spiel der Kräfte im groben etwas geändert wäre. Die Widerstandskräfte d und s, welche von dem Thorax aus durch die Gelenke auf die Clavicula wirken, müssen also derart beschaffen sein, daß sie erstens eine Kraft −k liefern, welche der Kraft k am Sternalende des Schlüsselbeins Gleichgewicht hält, zweitens ein Kräftepaar, welches dem Kräftepaar k in a und −k in o Gleichgewicht hält. Daraus kann man die Art der Inanspruchnahme des Gelenkes und der Durchbiegung der Clavicula ermessen.

Nun aber lassen sich die außerhalb des Gelenkes am Schlüsselbein angreifenden Kräfte nicht immer durch eine einzige, senkrecht zur Längslinie der Clavicula gerichtete Resultierende (k in a) ersetzen. Namentlich ist in der Regel noch eine Komponente vorhanden, welche in der Längslinie der Clavicula als Druck gegen das Sternoklavikulargelenk nach innen, oder als Zug nach außen hin wirkt.

Druckwirkung in der Längsrichtung der Clavicula.

Eine Druckwirkung gegen das Gelenk ergibt sich z. B., wenn wir auf der Seite, auf dem Arm oder auf der Schulter liegen, oder wenn ein Stoß die Schulter von der Seite oder auch von hinten her trifft. (Die Einwirkung zerlegt sich dann in eine nach vorn oder nach hinten wirkende „tangentiale“ Komponente und in eine als Druck gegen das Sternoklavikulargelenk wirkende Komponente. Das gleiche ist der Fall, wenn wir uns rücklings mit den Armen anstemmen, während die Schwere oder andere Kräfte den Stamm zwischen den Schultern rückwärts treiben. Auch wenn wir uns mit gehobenen Armen und etwas gehobenen Schlüsselbeinen gegen einen oben gelegenen Widerstand stemmen, oder auf gehobenen Armen eine schwere Last tragen, ergibt sich eine in der Längslinie der Clavicula wirkende, und zwar eine nach

em Sternoklavikulargelenk hin gerichtete Komponente. Endlich haben er M. subclavius und Pectoralis minor, der Sternokostalteil des Pectoralis major, der Latissimus dorsi und der obere Teil des Trapezius ine derartige Nebenwirkung. Es ist hier überall die Clavicula wie eine temmstange zwischen die Angriffspunkte der exartikulären Kräfte und en Thorax eingefügt.

Zugwirkung in der Clavicula.

Eine umgekehrt gerichtete, in der Längslinie der Clavicula nach ußen wirkende Komponente kommt in Betracht, wenn sich der Körper uf die vorgestreckten oder bei etwas gehobenen Schultern auf die ach unten gerichteten Arme stützt, oder wenn er aufrecht an den geobenen Armen oder nach vorn geneigt an den dorsalwärts geführten rmen hängt; desgleichen, wenn wir uns mit vorgestreckten Armen ückwärts oder mit abwärts erichteten Armen nach oben temmen, oder wenn ein Stoß ie Schulter von vorn trifft – also allemal dann, wenn lie Schulter gegenüber lem Rumpf bei mehr oder weniger rückwärts gestellterClavicularückwärts, oder bei mehr oder weniger gehobener Clavicula aufwärts getrieben wird (resp. wenn umgekehrt der Stamm zwischen den Schultern nach vorn oder nach unten gedrängt wird). In der Fig. 36 ist das Verhalten der Kräfte in einem solchen Fall (Liegestütz bäuchlings) dargestellt.

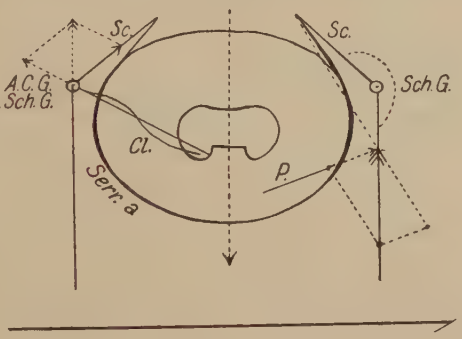


Fig. 36.

Biegungsbeanspruchung durch zwei äußere Kräfte.

Seltener als bei anderen Skelettstücken kommt es bei der Clavicula vor, daß außerhalb des Gelenkes zwei Kräfte in entgegengesetzter Richtung wirken. Doch ist dieser Fall beispielsweise gegeben, wenn drehende äußere Einwirkungen auf den Arm durch das Schulterblatt auf die Clavicula übertragen werden. Es kann z. B. am akromialen Ende der Clavicula eine abwärts gerichtete Kraft angreifen, während der Proc. coracoides nach oben gegen die Clavicula andrängt, oder es kann an beiden Stellen die Einwirkung gerade umgekehrt gerichtet sein. Zwei derartigen Einwirkungen muß schließlich durch einen abwärts oder aufwärts auf die Clavicula wirkenden Widerstand des Sternoklavikulargelenkes Gleichgewicht gehalten werden. (Hier drängt das Sternalende der Clavicula nach oben oder nach unten, ohne Abhebelungstendenz.) Aber gerade bei solcher Anordnung der Kräfte wird die Clavicula in besonderem Maße auf reine Durchbiegung

in Anspruch genommen sein und die Gefahr einer Biegungsfraktur bestehen, während starke Druckwirkung in der Längslinie mehr die Gefahr der Knickung in sich birgt.

Vergleichend Anatomisches.

Die Einsicht in die Art und Weise, wie die oberen resp. vorderen Extremitäten bewegt und namentlich auch wie sie als Lokomotionshebel benutzt werden, ist besonders wichtig für das Verständnis der Bedeutung der Clavicula oder eines entsprechenden anderen ventralen Stückes des Schultergürtels (Coracoid) bei Mensch und Tieren. Es ist allgemein anerkannt (s. z. B. Claus, Lehrbuch der Zoologie), daß die Clavicula bei denjenigen Säugetieren fehlt oder nur rudimentär entwickelt ist, welche die vorderen Extremitäten nur zur Stützung des Körpers und zur Vorbewegung benutzen und wesentlich nur in sagittaler Ebene bewegen, während sie bei den fliegenden, schwimmenden, grabenden und kletternden Säugern, und bei den höheren Affen und dem Menschen, bei denen die vordere (obere) Extremität in freierer Weise verwendet wird, gut ausgebildet ist. Sobald von der Extremität in größerem Umfang ventrale und dorsale Bewegungen gegenüber dem Rumpf und dem Schulterblatt, unter Umständen entgegen äußeren Widerständen ausgeführt werden, ist erstens einmal ein weiteres Abstehen des Schultergelenkes vom Rumpf (mehr dorsale Lagerung und frontale Stellung des Schulterblattes) notwendig. Es muß dann aber auch die Annäherung des Gelenkes an den Rumpf verhindert sein durch eine zwischen eingespannte Stemmstange, welche gelegentlich auch auf Zug in Anspruch genommen ist und auch die Abhebung zu hindern vermag.

Endlich genügt nicht das Vorhandensein von Muskeln des Schulterblattes, welche sich an der ventralen und dorsalen Seite des Humerus anheften. Für die im allgemeinen besonders kraftvolle Ventralbewegung der Extremität sind vielmehr Muskeln notwendig und von besonderem Vorteil, welche mehr oder weniger quer von der ventralen Peripherie des Stammes her zur Extremität gehen.

Die Ursprungsstellen dieser Muskeln müssen natürlich druckfest mit der Pfanne des Schultergelenkes verbunden sein. Sobald das Schulterblatt in der Pfannengegend dem Thorax nicht unmittelbar dicht anliegt, muß dies durch besondere mit dem Schulterblatt druckfest verbundene oder direkt mit ihm verwachsene ventrale Schultergürtelteile geschehen (Clavicula, Coracoid, Proc. coracoides). Sobald aber diese ventralen Muskeln, wenn auch nur teilweise, bis auf den Thorax übergreifen, müssen die betreffenden Skelettstücke mit ihrem medialen Ende in die Wand des Thorax eingefügt sein. In auffällig schöner Entwicklung sehen wir den ventralen Teil des Schultergürtels bei den Vögeln, welche ja den Hauptschlag des Flügels nach der Ventralseite hin ausführen und dafür eine auffallend stark entwickelte ventrale, vom Sternum entspringende Muskulatur besitzen. Aber auch bei den Reptilien und Amphibien ist im allgemeinen die Ventral- und Dorsalbewegung der vorderen Extremität neben der sagittalen Bewegung gut ausgeprägt und dementsprechend auch die Dorsalstellung des Schulterblattes und ein dem Thorax an- und eingefügter ventraler Abschnitt des Schultergürtels.

E. Die Stellung und Stellungsänderung des Schulterblattes zum Stamm.

α) Allgemeine Orientierung. Definitionen.

Die Stellung resp. Stellungsänderung des Schulterblattes zum Stamm hängt ab 1. von der Stellung resp. Stellungsänderung der Clavicula gegenüber dem Stamm (den wir uns als in sich festgestellt denken) im Sternoklavikulargelenk, 2. von der Stellung resp. Stellungsänderung der Scapula gegenüber der Clavicula in der Scapuloklavikularjunktur. Jede dieser Junkturen hat für sich allein drei Grade der Freiheit der Drehung, so daß die Stellung resp. Stellungsänderung der Scapula gegenüber dem Stamm streng genommen von sechs Faktoren abhängt, die nichts miteinander gemeinsam haben.

Indessen wird das Gebiet der möglichen Stellungen und der Umfang der Stellungsänderungen sehr erheblich beschränkt nicht bloß durch die anatomische Einrichtung der beiden Junkturen, sondern namentlich dadurch, daß das Schulterblatt mit seiner Muskelbepolsterung gezwungen ist, am Thorax entlang zu gleiten, ohne in denselben hineindringen und ohne sich von ihm abheben zu können.

Man kann ein Schulterblatt so auf eine ebene Tischfläche legen, daß die ganze Basis und der Processus coracoides die Tischfläche berühren; es liegen die Punkte der Basis scapulae und die ventrale Peripherie des Proc. coracoides ungefähr in einer Ebene. Der Zwischenraum zwischen dieser Ebene und der Hauptplatte wird durch den M. subscapularis ausgefüllt. Ja es wölbt sich der Muskel aus demselben noch mehr oder weniger kissenartig vor. Indem sich noch der M. serratus anterior zwischen diesen Muskel und den Stamm einschiebt, als eine in der Mitte sehr dünne, oben und unten sich verdickende Schicht, erscheint die innere Polsterung des Schulterblattes nahe dem ventralen Rande in den Stand gesetzt, sich bei jeder Lage des Akromialpunktes weich und breit, vom oberen Rand des Schulterblattes an bis in die Nähe seiner Spitze der Wölbung des Brustkorbes anzuschmiegen.

Indem das Akromion durch die Clavicula von der Stammwand abstehend gehalten wird, legt sich das Schulterblatt mit seinen Muskeln wie eine Brücke (Schulterbrücke) über das akromiale Ende der Clavicula und die äußere resp. hintere Peripherie des Brustkorbes. Die Berührung mit der Stammwand unter Zwischenlagerung des Serratus anterior erfolgt im allgemeinen erst nahe an der Basis scapulae. Wäre die Innenfläche des Subscapularis vollständig eben und starr, so würde sie die Oberfläche des Thorax in einem Punkte τ berühren, resp. ihr an diesem Punkte am nächsten kommen. Für jede Lage des Akromialpunktes aber könnte die dem Akromialpunkt α am nächsten stehende Längslinie des Subscapularis, welche durch den Berührungs- resp. Nahepunkt τ geht, verschieden hoch am Muskel gelegen sein und verschieden hoch am Thorax vorbeigehen. Gehen wir von einer bestimmten

Lage aus, welche diese Linie, die wir als subskapulare Tangentenlängslinie bezeichnen können, dem Schulterblatt und dem Thorax gegenüber einnimmt, so wäre von ihr aus bei unverrücktem Akromialpunkt eine Rollung der Scapula nach oben oder unten in gewissem Umfang möglich. Als Drehungsachse würde dabei die jeweilige Verbindungslinie des Akromialpunktes α mit dem Berührungspunkt resp. Nahepunkt τ anzunehmen sein. Dabei müßte natürlich die subskapulare Tangentenlängslinie ihre Lage in der Subscapularisoberfläche und am Thorax ändern. Die betreffende Rollung würde durch die Widerstände im Gelenk und durch die Widerstände gegen die Abhebung der Scapula von der Unterlage wechselnd früh gehindert sein.

Nun ist die Innenfläche des Subscapularis ein vorquellendes, aber weiches Polster, die Berührung mit dem Thorax ist eine breitere. Muskeln und Luftdruck wirken der Abhebung des Schulterblattes von der Unterlage entgegen; trotzdem ist eine beschränkte Umrollung möglich, insofern sie vom Akromialgelenk zugelassen wird. Statt von einem Berührungspunkt können wir von einem Druckmittelpunkt sprechen, der sich bei der Rollung gleichzeitig am Subscapularis und am Thorax um die gleichen Strecken verschiebt.

Im Gegensatz zu einer solchen Rollung steht die Gleitbewegung der Scapula entlang dem Thorax, bei welcher der Berührungs- resp. Druckmittelpunkt annähernd die gleiche Lage zur Scapula beibehält, am Thorax aber sich verschiebt.

Bei unverrückt bleibendem Akromialpunkt sind Gleitbewegungen des Schulterblattes nur möglich als Drehung um eine Achse, welche durch den Akromialpunkt geht. Sie wird jeweils annähernd senkrecht verlaufen müssen zu der inneren Begrenzungsebene der Scapula, die wir ohne großen Fehler als subskapulare Tangentenebene ansprechen dürfen. Sie erfährt allerdings im Verlaufe der Bewegung kleine Umstellungen, indem sich mit der Hauptdrehung kleine Nebendrehungen zwischen Scapula und Clavicula verbinden. Außerdem sind Gleitbewegungen möglich, bei welchen das Schulterblatt zusammen mit dem Akromialpunkt annähernd translatorisch am Thorax aufwärts oder abwärts, vorwärts oder rückwärts (resp. nach der vorderen oder hinteren Mittellinie zu) verschoben wird. Sie können im allgemeinen nicht ohne merkbare Drehungen im Akromialgelenk vor sich gehen, um Achsen, welche der Tangentenebene annähernd parallel laufen. Endlich sind Kombinationen zwischen den verschiedenen Arten der Gleitbewegung möglich.

Es ist recht bemerkenswert, daß wir nicht imstande sind, bei unverrücktem Akromialpunkt ohne gleichzeitige Bewegung des Armes im Schultergelenk das Schulterblatt dem Thorax entlang in irgend erheblicher Weise zu verschieben oder umzustellen (umzurollen), wenigstens nicht ohne besondere darauf gerichtete Übung, daß aber andererseits mit der Umstellung des Armes im Schultergelenk auch die Berührungsstelle der Schulterblattgrenzebene mit dem Thorax in zwangsmäßig oder gewohnheitsmäßig festgestellter Weise wechselt.

Jeder bestimmten Lage des Akromialpunktes und bestimmten ellung des Oberarmes im Schultergelenk entspricht also eine bestimmte ige der Berührungsstelle der skapularen Berührungsebene mit der oraxwand, also ein bestimmter Verlauf der Hauptlinie des Schulter- attes und eine bestimmte Orientierung der Schulterblatthauptebene.

Ferner ergibt sich, daß mit der Stellung des Armes im Schulter- lenk im allgemeinen auch die Lage des Akromialpunktes selbst mehr er weniger gesetzmäßig verändert wird.

Die Stellung der Scapula am Thorax ist also tatsächlich im wesent- hen durch die Lage des Akromialpunktes und die Richtung der Haupt- nie des Schulterblattes bestimmt. Letztere wird gegenüber der uerebene des Thorax, welche dem Berührungspunkt entspricht, stets ehr oder weniger nach dem Schultergelenk zu aufsteigen, oder wie r uns ausdrücken: aufgerichtet sein. Die Vermehrung der Steil- ellung am Thorax soll im folgenden als absolute Aufrichtung, e Verminderung der Steilstellung (Vermehrung der Querstellung) als uerrichtung (ich finde keinen besseren Ausdruck) bezeichnet werden.

Der absolute Aufrichtungswinkel ist der Winkel, den die auptlinie mit der Querebene des Brustkorbes bildet. Nicht zu ver- echseln damit ist die relative Aufrichtung der Scapula (ihrer auptlinie oder der Akromialpunktanguluslinie) gegenüber der Haupt- bene des akromialen Claviculaendes (s. o.).

Bedeutung der Muskeln und des Luftdruckes für den Kraftschluß.

Wenn wir bisher von einer Tangentenlinie und Tangentenebene, nem mittleren Berührungs- und Druckpunkt und von der Möglich- eit der Rollung des Subscapularispolsters auf der Thoraxoberfläche esprochen haben und eine derartige Schematisierung für zulässig halten, o muß doch ausdrücklich betont werden, daß sich der Subscapularis n ziemlicher Breite der Unterlage (Serratus ant. und Brustwand) an- gt und anpaßt. Wir verweisen in dieser Beziehung auf Fig. 37, in elcher nach Braunes topographisch-anatomischem Atlas ein horizon- aler Gefrierschnitt skizziert ist.

Die Muskeln der Basis scapulae, der Trapezius und der über die pitze des Schulterblattes hinüber zum Arm ziehende M. latissimus orsi sorgen im Sinne des Kraftschlusses dafür, daß diese Berührung n möglichst vielen Punkten von oben bis unten stattfindet. mmerhin hebt sich zuletzt vorn, vor der Berührungsstelle das Sub- apularispolster vom Serratus ab, der seinerseits der Stammwand nliegt. Der Raum, der zwischen ihm und den Pectorales übrig bleibt, ird durch Zellgewebe, Gefäße und Nerven ausgefüllt. Außen wird er urch die Längsmuskeln des Oberarms und den Humerus, hinten auch och durch das Ende des Teres major und Latissimus und den hinteren eltoidesrand, oben teilweise durch den deckenden Mantel des Tra- ezius abgeschlossen. Es buchtet sich die Haut der Supraklavikular-

grube von oben in den Zwischenraum hinein und von unten her die Haut der Achselgrube. Unter den von vorn, oben und hinten oben dem Stamm entlang zur Basis scapulae ziehenden Muskeln liegt lockeres Zellgewebe, welches weitgehende Verschiebung der Brustwand entlang erlaubt. Ein größerer klaffender Raum zwischen diesen Muskeln und der Basis scapulae einerseits, der Brustwand andererseits kann nicht entstehen. Der entstehende Überdruck der äußeren Luft über den Gewebsdruck widersetzt sich schon den Anfängen seiner Bildung. Eine Abhebung der Basis scapulae ist nur soweit möglich, als sich diese Muskeln und ihnen folgend von vorn her die Füllung der Achselhöhle und die Haut der Achselgrube, von hinten her der Trapezius und die Haut des Rückens gegen den entstehenden Zwischenraum hinschieben lassen.

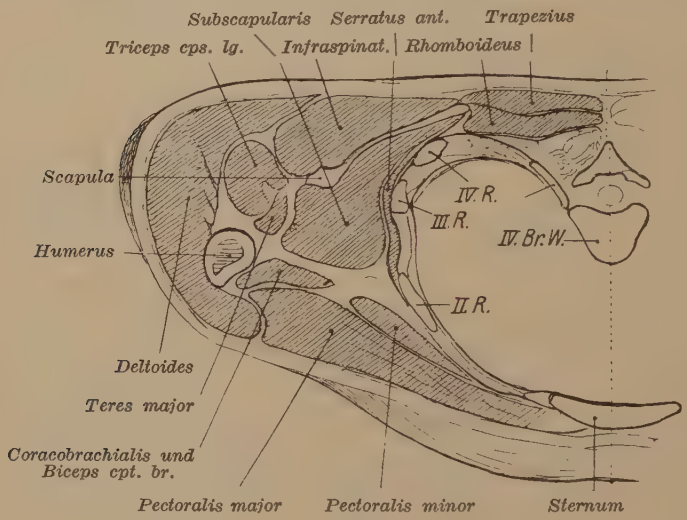


Fig. 37.

Dies ist in einigem Umfang nur von unten und hinten her möglich. Aber auch hier leistet die genannte Bedeckung selbst gegen ihre Einbiegung Widerstand.

Die Basis scapulae kann sich übrigens immer nur teilweise abheben und nur dann, wenn der Anschluß der Subscapularisfläche an die Brustwand näher dem Schultergelenk stattfindet.

Dem Luftdruck kann ich unter gewöhnlichen Verhältnissen eine erhebliche Bedeutung für den Kraftschluß des Schulterblattes nicht zusprechen. Ein stärkerer Überdruck der Luft über den Gewebsdruck in der Achselhöhle kann erst entstehen bei plötzlichen und gewaltsamen Einwirkungen zur Abhebung des Schulterblattes.

Nach der Berechnung von R. Fick würde sich der Luftdruck der Abhebung der Schulter von der Brustwand mit einer Kraft, welche dem Gewicht eines kräftigen Mannes entspricht, widersetzen. Man muß sich aber klar machen, daß es sich hier

·i nur um eine virtuelle Kraft des Zusammenhaltes handelt, die erst in irksamkeit treten würde, wenn eine wirkliche Abhebung der Schulter stattfände d ein Nachdringen der Weichteile und der Haut in den entstehenden Zwischen·um unmöglich gemacht wäre. Die tatsächliche Druckverminderung im axillaren ·dlungsgewebe kann nur den nach außen gerichteten Komponenten der Zugspan·ngen entsprechen, welche durch die Einbiegung der weichen Wände der Achsel·hle, der Muskeln und der Haut mit der Faszie entstehen, und zwar abzüglich der ·gspannungen in inneren Weichteilbrücken, welche diese Einbiegung aufrecht er·lten helfen. Wenn nicht gerade ganz außergewöhnliche Verhältnisse vorliegen und ßergewöhnlich große Einflüsse zur Abhebung der Schulter wirksam sind, wird man · Druckverminderung im axillaren Füllungsgewebe nicht hoch veranschlagen ·rfen. Änderungen des Druckes mögen immerhin von einiger Bedeutung für den Zud Abfluß der Lymphe und des Venenblutes sein. Das Hauptmittel, um die ·hulter am Brustkorb anliegend zu halten, sind ganz sicher, abge·ien von dem Widerstand der Sternoklavikularverbindung, die Muskeln. Der rhältnismäßig dünne Hautmuskel des Halses vermag in der Supraklavikular·ube allem Anschein nach die allzutiefe Einbiegung und Einfaltung der Haut zu ·ndern, die Venen und Lymphwege offenzuhalten und vor Kompression zu ·ützen. Daß aber für gewöhnlich, bei mäßiger Einbiegung der Haut, seine Span·ng mit derjenigen der Haut eine große Kraft darstellt, welche einem großen ·erdruck der äußeren Luft gegenüber einem stark herabgesetzten axillaren Druck ·iderstand leistet, ist durchaus nicht wahrscheinlich. Wir müssen vielmehr an·hmen, daß das axillare Füllungsgewebe im Mittel so gut wie das Zellgewebe derwärts unter Atmosphärendruck steht. Damit fällt natürlich die Lehre vom ·sammenhalt der Schulter und des Brustkorbes durch den Luftdruck als ·ner konstant wirksamen, Muskelkräfte sparenden Einrichtung dahin.

γ) Parallelverschiebung der Schulter.

Wir verstehen darunter diejenige Verschiebung der Schulter, welche ·icht mit Drehung des Schulterblattes parallel seiner Hauptebene ·rbunden ist. Die Clavicula ändert natürlich bei der Verschiebung ·es Akromialpunktes ihre Richtung. Am Schulterblatt selbst können ·ei größeren Verschiebungen kleine Drehungen um Achsen, welche ·iner Hauptebene parallel laufen, bemerkbar werden. Die Bezeichnung Parallelverschiebung" ist also nicht vollkommen zutreffend.

1. Vor- und Rückführung des Schulterblattes.

Mit der Vorbewegung der Clavicula und des Akromioklavikular·elenkes wandert natürlicherweise die Berührungsstelle der Schulter·rücke mit dem Stamm von der Hinterseite des Brustkorbes gegen die ·eitenfläche. Die horizontalen Profile der Scapula stellen sich mehr ·agittal. Würde diese Drehung parallel der Horizontalebene der Drehung ·er Clavicula entsprechen, so müßte man den Schluß ziehen, daß sich ·as Schulterblatt zusammen mit der Clavicula als starres Ganzes um ·chsen des Sternoklavikulargelenkes bewegt und umgekehrt.

Wären also beispielsweise die Bahnkurven, in welchen sich die ·erschiedenen Punkte der Basis scapulae bei der horizontalen Vor·ührung bewegen, Kreislinien um die vertikale Achse des Sternoklavi·ulargelenkes, so müßte der postklavikulare Schultergürtelwinkel dabei ·nverändert bleiben. Nun verlaufen aber diese Bahnkurven anfänglich ·ehr direkt nach außen und entfernen sich von der genannten Vertikal-

achse. Der Zuwachs der Entfernung wird allerdings im weiteren Verlauf immer kleiner. Projiziert man auf die Horizontalebene die Bahnkurve eines Basispunktes, die Bahn des Akromialpunktes und die Mitte des Sternoklavikulargelenkes und verbindet für verschiedene Stellungen die korrespondierenden Projektionen der Mitte des Sternoklavikulargelenkes, des Akromialpunktes und des Basispunktes durch gerade Linien zu einem Dreieck (Fig. 38), so erkennt man, daß sich der Winkel des Dreieckes, welcher der Verbindungslinie des Sternalgelenk- und des Basispunktes

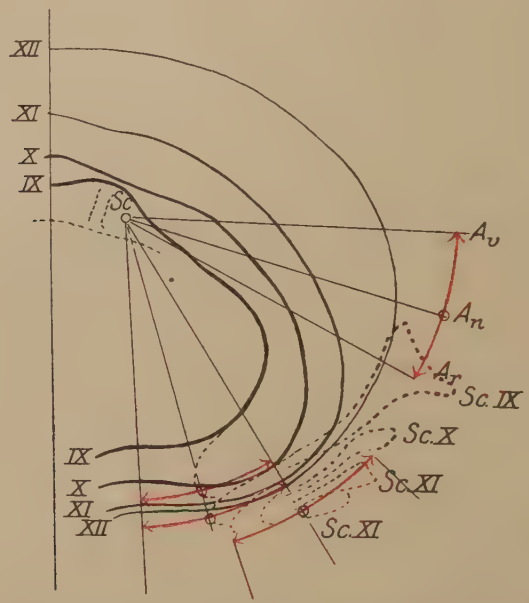


Fig. 38. *IX, X, XI* und *XII* vier Horizontalprofile der Thoraxoberfläche, *Sc. IX* bis *Sc. XII* die zugehörigen Profile des Schulterblattes in mittlerer Stellung. *Sc.* Drehpunkt der Clavicula im Sternoklavikulargelenk. Die rote Linie A_r, A_n, A_v zeigt die Verschiebung des Akromialgelenkes in der Projektion auf die Horizontalebene, die drei anderen roten Linien geben die Linien, in denen sich drei verschiedene Punkte der Basis scapulae verschieben müßten, wenn die Scapula starr mit der Clavicula verbunden wäre. Die wirkliche Verschiebung geht mehr direkt nach außen.

gegenüberliegt, bei der Vorführung der Schulter etwas öffnen, bei der Rückführung etwas schließen muß. Die Öffnungsbewegung ist anfänglich deutlicher als gegen den Schluß der Vorführung. In der Tat sieht man bei der horizontalen Vorführung der Schulter am Lebenden den Processus coracoides unter die Clavicula anfänglich rascher und dann immer langsamer zurückweichen.

Die engste Berührung des Subscapularis mit der Unterlage findet sich übrigens im allgemeinen nicht an der Basis selbst, sondern näher dem Schultergelenk. Insofern als ihre Entfernung von der Basis scapulae zu- oder abnimmt

mbiniert sich mit der Gleitbewegung etwelche Rollung nach außen oder innen. ch kleine Verschiebungen der Hauptdruckstelle, gleichzeitig am Subscapularis d am Thorax nach oben oder unten, sind nicht völlig ausgeschlossen.

Bei rückgeführter Schulter kann die Basis oder ein der Basis benach- er Streifen der Subscapularisfläche die Stelle des engsten Anschlusses in der nzen Länge auch noch dann bilden, wenn die Schulterblattmittellinie mehr rgestellt wird. Findet aber Aufrichtung des dorsal liegenden, frontalgestellten Akromion rückgeführten) Schulterblattes parallel der frontal gestellten Ebene Hauptplatte statt, so rückt die Basis unten über die hintere Thoraxfläche beschränktem Maße (s. u.) seitlich hinaus. Der feste Schluß beschränkt sich r auf die mittleren und oberen Teile der Schulterblattbasis und ihre Nach- schaft.

Bei der horizontalen Vor- und Rückführung bewegen h also Clavicula und Schulterblatt nicht als ein starr rbundenes Ganzes einzig im Sternoklavikulargelenk; es det auch eine geringe Bewegung in der äußeren Schlüssel- injunktur statt. Indem sich bei der Vorführung der postklavi- lare Schultergürtelwinkel etwas stärker öffnet, wird die sagittale mstellung des Schulterblattes, welche durch die Bewegung mit r Clavicula herbeigeführt wird, noch etwas vergrößert.

Die Rückführung der Schulter ist mit einer Verkleinerung des stklavikularen Schulterwinkels und einer entsprechend vermehrten mstellung des Schulterblattes zur frontalen Orientierung ver- nden.

2. Reine Hebung und Senkung der Schulter.

Darunter soll eine Bewegung verstanden sein, bei welcher sich e Clavicula und das Schulterblatt parallel einer durch die Clavicula rlaufenden Vertikalebene (Längsebene des Thorax) bewegen. Die nzelnen Punkte des Schulterblattes bewegen sich durchaus nicht bloß vertikaler Richtung; eine unbedeutende Drehung parallel der genannten rtikalebene ist mit im Spiel, indem ja das akromiale Ende des Schlüssel- ins bei seiner Hebung zugleich der Vertikalachse des Sternoklavikular- lenkes genähert wird, die Spitze des Schulterblattes aber sich ziem- h genau in vertikaler Richtung nach oben, entlang dem Thorax ver- hiebt.

Aber selbst wenn der Akromialpunkt gegenüber der Spitze des hulterblattes deutlich nach innen geht, so ist die betreffende Drehung s Schulterblattes doch lange nicht so groß, als einer gemeinsamen ewegung mit der Clavicula um eine Achse des Sternoklavikulargelenkes tsprechen würde. Es findet vielmehr eine ausgiebige Bewegung im ußeren Schlüsselbeingelenk statt. Der untere Schulterwinkel ver- einert sich bei der Schulterhebung.

Das Schulterblatt dreht sich bei der reinen Schulterhebung in r äußeren Schlüsselbeinjunktur um eine horizontale, zur Längslinie s Schlüsselbeins querstehende Achse fast um ebensoviel, als sich das hlüsselbein im sternalen Gelenk um eine gleichgerichtete Achse dreht. ie äußere Schlüsselbeinjunktur ist also bei der reinen Hebung und

Senkung viel stärker beteiligt als bei der horizontalen Vor- und Rückführung.

Der Sachverhalt läßt sich allenfalls in der Weise auffassen, daß bei der Schulterhebung das Schulterblatt 1. die Drehung der Clavicula im Sternoklavikulargelenk mitmacht, 2. zugleich aber eine entgegengesetzte Drehung annähernd parallel der gleichen Drehungsebene in der Scapuloklavikularjunktur ausführt. Der Winkelbetrag der zweiten Drehung ist nicht ganz so groß wie derjenige der ersten.

Da sich bei der Hebung wie bei der Rückführung der Akromialpunkt (Ende der Clavicula) der Mittelebene des Körpers nähert, bei der entgegengesetzten Bewegung von ihr entfernt, und zwar nach anderem Verhältnis als die Bahn, welche vom Nahepunkt der Scapularisinnenfläche am Thorax beschrieben wird, so muß sich dieser Nahepunkt wohl in der Subscapularisfläche etwas verschieben; er wird sich bald dem Processus coracoides etwas nähern, bald etwas von ihm abrücken. Es wird auch nicht immer genau die Mittellinie des Subscapularis, sondern bald eine höhere, bald eine tiefere Längslinie desselben dem Thorax am meisten angepreßt sein. Kleine Änderungen in letzterem Sinn sind möglich, ohne daß es bei der Verschiebbarkeit der Polsterung zu wirklicher Abhebung des entgegengesetzten Muskelseitenrandes zu kommen braucht.

Die Stellung und Stellungsänderung zwischen Scapula und Clavicula kann nach den früher (S. 66) angegebenen Normen bestimmt werden. Die Polachse der akromialen Exkursionskugel neigt sich mit der Hebung der Clavicula gegen das Sternoklavikulargelenk nach innen. Die Distanz des Anguluspunktes vom oberen Pol der Exkursionskugel wird nicht wesentlich verändert, ebensowenig der wahre, bei Visieren in der Richtung der akromialen Polachse bestimmbare postklavikulare Schultergürtelwinkel. Dagegen zeigt sich beim Visieren über den Angulus nach dem Akromialpunkt eine Deklination der Basislinie gegenüber dem unteren Pol nach innen. Sie ist ungefähr ein Maß für die Verkleinerung des wahren infraklavikularen Schultergürtelwinkels.

Namentlich W. Henke (1863) war der Meinung, daß sich das Schulterblatt wesentlich nur zusammen mit dem Schlüsselbein und wie in fester Verbindung mit demselben im Sternoklavikulargelenk bewege: er gibt nur eine ganz untergeordnete Verschiebung in der äußeren Klavikularjunktur zu. Aber schon ein flüchtiger Blick auf die Schulterbewegungen beim Lebenden genügt, um zu erkennen, daß bei der Hebung und Senkung der Schulter die Scapuloklavikularverbindung in ausgiebigem Maße beteiligt ist, und auch für die Vor- und Rückbewegung ist die Bewegung in dieser Junktur aus der Verschiebung des Processus coracoides gegenüber der Clavicula und aus der Änderung des postklavikularen Schulterwinkels deutlich genug. Erhebliche Meinungsdifferenzen können in der Tat nur bestehen bezüglich der Art der Beteiligung der beiden Gelenkstellen für die Aufrichtung und Querrichtung des Schulterblattes und namentlich für die Vorgänge bei der Erhebung des Armes.

Es haben Braune und Fischer (1888) dem Gegenstand eine genauere Untersuchung angedeihen lassen. In neuerer Zeit beschäftigten sich mit der Frage Gaupp (1894), Steinhausen (1899), Mollier (1900) und Merkel (1905).

δ) Aufrichtung und Querrichtung des Schulterblattes.

Sind Oberarm und Akromialpunkt durch äußere Widerstände in ihrer Bewegung gehindert, so bringt man es auch bei darauf gerichteter Aufmerksamkeit und vielen Übungsversuchen kaum dazu, die Spitze des Schulterblattes selbst nur um ein weniges der hinteren Mittellinie zu nähern oder von ihr zu entfernen.

Die Drehung des Schulterblattes parallel seiner Hauptebene um n ruhenden Akromialpunkt findet im allgemeinen nur statt als Be-iterscheinung von Bewegungen des Armes im Schultergelenk. Wählt n als Achse dieser Drehung die senkrecht zur Ebene des Schulter-ttes durch den Akromialpunkt gehende Gerade, so bleibt neben der nannten Drehung des Schulterblattes eventuell noch die Parallel-wegung zu berücksichtigen, welche das Schulterblatt als Ganzes mit m Akromialpunkt ausführt. Wir werden diese Bewegungskombina-n im folgenden ausführlich besprechen.

Auf die verschiedenen Versuche, welche gemacht worden sind, um die Be-gungen der Schulter in ihre Komponenten zu zerlegen, soll hier nicht näher ein-angen werden; wir wollen bloß erwähnen, daß Winslow (1743) und Henke die Drehungen, welche vom Schulterblatt annähernd parallel seiner Ebene geführt werden, eine Drehungsachse angenommen haben, welche durch die te des Schulterblattes und das Sternoklavikulargelenk geht.

Duchenne (1867) nahm im Angulus scapulae einen Drehpunkt an, um ichen z. B. bei Faradisation des M. serratus ant. das Schulterblatt mit der avicula gedreht wird (unter Mitnahme des äußeren Endes der Clavicula). r die Hebung und Senkung der Schulter berücksichtigte er allerdings die in der ßeren Klavikularjunktur stattfindende Drehung.

Die neueren Untersucher von Braune und Fischer an erwarten alle Auf-rung von der scharfen Unterscheidung der im Sternoklavikulargelenk und der der Scapuloklavikularjunktur stattfindenden Bewegungen. Bei der Analyse r Kräfte wird es aber unter Umständen vorteilhafter sein, zwischen den Be-gungen zu unterscheiden, welche der Schulterarmkomplex als Ganzes mit nem Massenmittelpunkt ausführt, und den Drehbewegungen, welche der gleiche mplex um seinen Massenmittelpunkt vollzieht. In diesem Fall kann auch ischen annähernd translatorischer Hebung und Senkung, sowie Vor- und Rück-wegung und zwischen einer Drehung des Komplexes entlang der Brustwand terschieden werden. Für die translatorische Bewegung ist dabei aber nicht die wegung der Schulterhöhe, sondern die Bewegung des Massenmittelpunktes s Schulterarmkomplexes maßgebend.

F. Kombinierte Schulter- und Armbewegung.

α) Umstellung des Schulterblattes bei der Armhebung.

1. Drehung des Schulterblattes in seiner Ebene bei der Armhebung.

Die Drehung des Schulterblattes in seiner Ebene kommt namentch in Frage als Begleiterscheinung der Armhebung. Sie ist dabei selten anz rein, sondern mehr oder weniger mit Hebung der Schulter und auch it Vor- oder Rückführung kombiniert, wobei der Schulterwinkel verndert wird.

Daß die Hebung des Oberarms über die Horizontale nicht einzig nd allein im Schultergelenk vor sich geht, sondern daß dabei eine Drehung des Schulterblattes (Aufrichtung) mit im Spiel ist, ist längst be-

kannt. Die genauere Art der Beteiligung der beiden Drehungen wurde aber lange Zeit nicht vollkommen richtig aufgefaßt. Einige Differenzpunkte zwischen den verschiedenen Untersuchern bestehen auch heute noch, vor allem aus dem Grund, weil nach verschiedenen und nicht immer einwandfreien Methoden gemessen wird, zum Teil auch deshalb, weil die Hebung des Armes zur Senkelhalte tatsächlich in ver-

Fig. 39.

schiedener Weise vom Einzelnen ausgeführt werden kann, und weil in der Ausbildung der Beweglichkeit und Gebrauchsfähigkeit der verschiedenen in Betracht kommenden Gelenke individuelle Unterschiede vorkommen.

Henle, Duchenne u. a. haben die Meinung ausgesprochen, daß die Hebung des Armes bis zur Horizontalen im Schultergelenk geschieht, während das Schulterblatt durch die am Stamm entspringenden Muskeln

seiner Lage festgehalten wird, daß aber die weitere Erhebung des rmes durch die Aufrichtung des Schulterblattes zustande kommt. dem aufmerksameren Beobachter des lebenden nackten Körpers muß mgegenüber klar sein, daß die Hebung des Armes sozusagen vom sten Augenblick an mit Aufrichtung des Schulterblattes kombiniert t; gelingt es ja doch selbst bei bestimmter Absicht nicht, eine solche ewegung auszuschalten.

Daraus folgt mit Sicherheit, daß bei der Erhebung des Armes bis zur orizontalen die mögliche Hebungsexkursion im Schultergelenk noch nicht erhöpft ist, selbst wenn man dieselbe zu niedrig, nur auf 90° taxiert. Nach Duchenne, enle, Hyrtl, Krause, Langer, Toldt, Gegenbaur, H. v. Meyer, Poirier, stut, Gaupp u. a. beträgt sie 90° oder nicht viel mehr. Albert hat sie auf —100° geschätzt, nach Braune und Fischer beträgt sie 109°, nach Mollier 2°, nach Steinhausen (Röntgenuntersuchungen) 120°, nach Rauber sogar 0°, was sicher zu hoch gerechnet ist. Die Differenzen beruhen z. T. auf indiiduellen Verschiedenheiten, z. T. auf verschiedener Art der Messung, am Präparat d am Lebenden, bei verschiedener Ebene der Hebung, verschiedener Wahl der usgangsstellung, verschiedener Rotationsstellung etc.

Nach meiner Erfahrung kann der Humerus beim Lebenden meist um 110 s 120° aus der Grundstellung in der Ebene des Schulterblattes gegenüber dem tzteren gehoben werden, so daß er zuletzt mit dem Außenrand des Schulterattes einen Winkel von ca. 140—150° bildet. Die stärkste Hebung im Schulterlenk ist allerdings nur möglich bei auswärtsrotiertem und etwas ventral gestelltem berarm, während ohne Auswärtsrotation (bei welcher das Tuberculum majus nten steht) die Hebung erheblich weniger ausgiebig ist und bei dorsaler Stellung s Oberarms zum Schulterblatt noch mehr beschränkt wird. Die Hebung des umerus zum Schulterblatt geschieht, wenn wir im Stand die Arme zur Senkelhalte heben, im Maximum so weit, daß die Mittellinien des Schulterblattes und des umerus zusammenfallen (ca. 110—120°). Auf Rechnung der Aufrichtung des chulterblattes kommen nach Mollier 30°, meiner Meinung nach unter Umänden auch noch etwas mehr. Der Betrag von 60°, den Steinhausen annimmt, t viel zu hoch. Die sagittale Umstellung beträgt dabei 25° (Steinhausen). Der est der nötigen Aufrichtung muß durch Bewegung in den Gelenken des Stammes nd der unteren Extremitäten erzielt werden. Nach den Röntgenuntersuchungen steinhausens würden bis zur Erhebung des Armes um 60° über den Horizont, Aufrichtung des Schulterblattes und Hebung des Armes im Schultergelenk zuammengehen, wobei allerdings letztere Bewegung allmählich in den Vordergrund ritt. Die letzte Erhebung bis zur Senkelhalte aber würde einzig und allein durch Bewegung im Schultergelenk zustande kommen. Gegen die Annahme, daß dies mmer so geschieht, hegen wir jedoch entschiedene Bedenken. Die Beobachtung ehrt, daß die Aufrichtung des Schulterblattes gegenüber dem Thorax bis zum letzten Augenblick der Armhebung noch fortschreiten kann. Allerdings ist es möglich, mit der Auswärtsrotation des Oberarms (um die Halsachse) zurückzuhalten, bis lle anderen Mittel zur Hebung des Armes erschöpft sind. Dann freilich gibt die enannte Drehung noch eine weitere Möglichkeit zur Aufrichtung des Armes, loß im Schultergelenk. Man hat aber ebensogut volle Freiheit, die Auswärtsotation früher auszuführen und die Bewegungsmöglichkeit im Schultergelenk anz zu erschöpfen, bevor die Aufrichtung des Schulterblattes durch Rückführung er Schulterhöhe vollendet wird. Die genannten Resultate Steinhausens möchten mit der besonderen Art und Weise zusammenhängen, in der er die Hebung des Armes at vornehmen lassen. Ferner muß auffallen, daß Steinhausen mit keinem Wort er Bewegungen des Stammes Erwähnung tut, welche doch nachweisbar ei der Aufrichtung des Schulterblattes und Armes eine sehr wichtige Rolle spielen. Nach Mollier beträgt ihr Beitrag zur Armhebung 16—18°. Er kann aber auch och beträchtlicher sein. Unserer Meinung nach ist es die Regel, daß die Rückeugung des Thorax zwar sehr früh beginnt, aber daß sie anfangs gering ist und erst ei der stärksten Aufrichtung des Armes wirkungsvoll einsetzt, nachdem die Umtellungsmöglichkeit des Schulterblattes gegenüber dem Thorax und auch die Be-

wegung im Schultergelenk bereits ganz oder annähernd erschöpft ist. Die gesamte Aufrichtung des Schulterblattes soll nach Steinhausen ca. 60° betragen. Dieser Autor hat an ca. 250 Soldaten die Vertikalhebung des Armes geprüft. Er fand Hebungen von 155—195°; nur bei 29% waren Hebungen bis auf 175° möglich. R. Fick bemerkt hierzu, daß die von Steinhausen berücksichtigten Schattenbilder nicht einwandfrei den Grad der Hebung beurteilen lassen. Eine Beugung

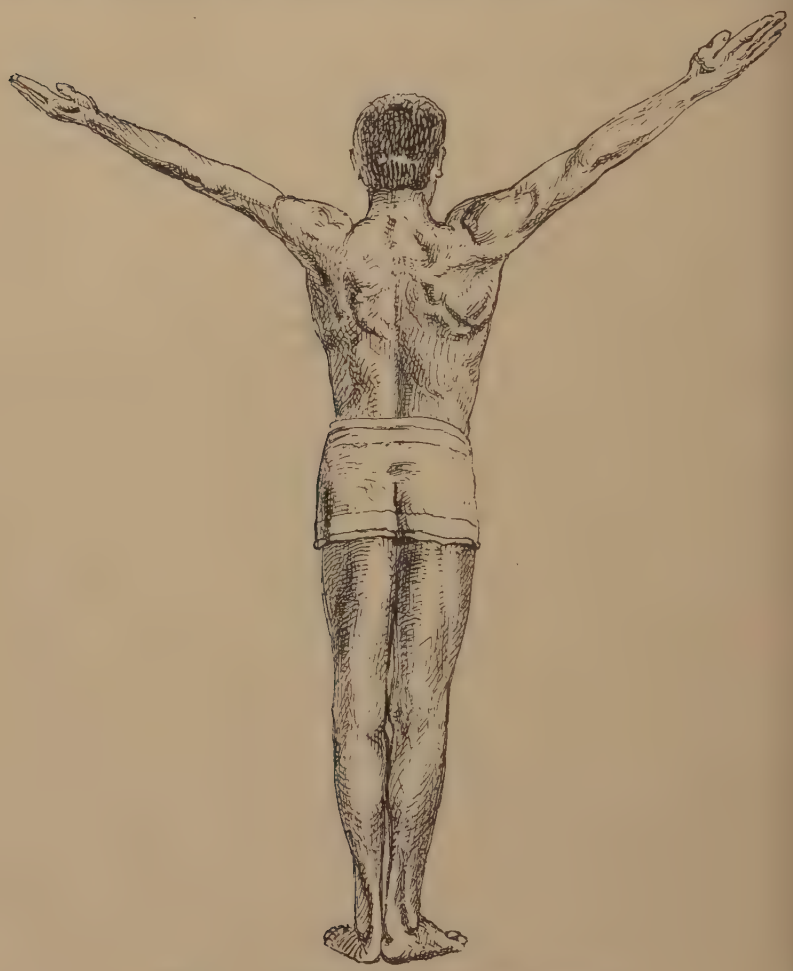


Fig. 40. Umzeichnung nach Steinemann.

im Ellbogen und die damit verbundene entsprechend geringere Hebung des Oberarms könne übersehen werden, wenn die Beugungsebene des Ellbogens senkrecht zur Projektionsebene steht. Die von Steinhausen erhaltenen Werte für die Erhebung sind also möglicherweise zu groß. Dieser Einwand erscheint berechtigt. R. Fick gibt eine Abbildung von einem wirklich vollkommen zur Parallelstellung mit der Längsachse des Rumpfes gehobenen Oberarm. Dieselbe zeigt den damit

erbundenen Grad des seitlichen Vortretens der Spitze des Schulterblattes. Der Winkel, welchen der Humerus mit dem Schulterblatt bildet, läßt sich an der Figur nicht beurteilen. Wie weit dabei der Brustkorb gegenüber dem Becken zurückgebeugt war, wird nicht angegeben. Wir verweisen auf unsere Fig. 46.

2. Flächenumstellung des Schulterblattes bei der Armhebung.

Braune und Fischer, Gaupp, Mollier u. a. haben auf die Konkordanz hingewiesen, welche zwischen der Richtung der Hauptebene des Schulterblattes und der Ebene besteht, in welcher der Arm gehoben wird. Es ist vor allem bemerkenswert, daß bei der Hebung des Armes nach außen das Schulterblatt mehr frontal und mehr an der Hinterseite des Stammes steht, während es bei der Hebung des Armes nach vorn mit der Spitze um die Rundung des Brustkorbes herum nach der Seite und nach vorn geführt und in eine mehr sagittale Stellung gebracht ist. Man vergleiche unsere Fig. 40—42 mit den Figg. 43—45.

Braune und Fischer haben auch gezeigt, daß der Anteil der Bewegung im Akromialgelenk verschieden ist, je nach der Ebene der Armhebung. Sie ist nach innen größer bei der sagittalen Hebung. Diesen Punkt hat Gaupp weiter ausgeführt. Steinhausen machte auf die individuellen Verschiedenheiten aufmerksam. Daß die Vertikalhebung mit einer Rückführung des Schlüsselbeins verbunden ist, hat schon Waldeyer erkannt. Endlich hat vor allem Gaupp betont, und es ist dies durch Mollier u. a. im ganzen bestätigt worden, daß entgegen einer verbreiteten Annahme mit der Hebung des Armes nach vorn, wenigstens anfangs, eine irgend nennenswerte Hebung der Schulterhöhe nicht verbunden ist. Doch erhebt sich zum Schluß, bei stärkster Hebung, die Schulterhöhe nach Mollier um 4—5 cm. Ein verschiedenes Verhalten auf der linken und rechten Seite zeigt unsere Fig. 43. Eine vollkommen befriedigende Erklärung aller dieser Erscheinungen ist bis jetzt nicht gegeben worden.

3. Bedeutung der besprochenen Erscheinungen.

Welchen Sinn alle die genannten Mitbewegungen und Umstellungen des Schulterblattes haben, kann unserer Meinung nach nicht zweifelhaft sein. Es handelt sich offenbar darum, 1. die Mittellinie und Hauptebene des Schulterblattes möglichst in die Ebene zu bringen, in welcher der Arm gehoben werden soll und so das Exkursionsgebiet des Schultergelenkes möglichst symmetrisch zu dieser Ebene zu belassen, 2. durch Aufrichtung des Schulterblattes die Pfanne und das Exkursionsgebiet möglichst nach oben zu richten.

Durch die Eindrehung der Mittellinie und der Hauptebene des Schulterblattes in die Ebene der Armhebung und umgekehrt wird die Leichtigkeit und Ausgiebigkeit der Hebung gegenüber der Scapula vermehrt und bewirkt, daß die Bewegung durch die Mittelstellung hindurch bei möglichst wenig torquierter und möglichst gleichmäßig an den Seiten gespannter Schultergelenkkapsel vor sich gehen kann. Durch die Aufrichtung des Schulterblattes wird der absolute Betrag der Hebung entsprechend vergrößert, durch die sagittale Umstellung die Ausgiebigkeit der möglichen Aufrichtung des Schulterblattes gesteigert. Was dagegen die Hebung der Schulter anbelangt, so kann sie einen erheblichen Nutzen durch die Erhöhung der absoluten Höhenlage des Armes und der Hand kaum gewähren. Es kann sich, soweit sie stattfindet,

offenbar nur um eine Nebenwirkung der bei der Richtungsänderung der Scapula und des Humerus tätigen Muskeln handeln.

Daß Rumpfbeugung nach hinten nur bei nach vorn, nicht aber bei beiderseits seitlich gehobenen Armen zur Vermehrung ihrer Aufrichtung beitragen kann, ist selbstverständlich. In welcher Weise aber die Umwendung des Schulterblattes zur mehr sagittalen Stellung für die Aufrichtung von Bedeutung ist, verlangt eine genauere Besprechung. Die Tatsache ist unbestreitbar, daß eine rein seitliche Hebung des Armes resp. der beiden Arme, wobei eine seitliche Bewegung des Rumpfes ausgeschlossen ist, bei guter frontaler Umstellung der Scapula nicht erheblich über die Horizontalstellung hinaus (nach Steinhausen nur bis zu 60°) möglich ist (Fig. 40), während der Arm nach vorn ohne Mitwirkung des Stammes bequem weit über die Horizontale gehoben werden kann. In all den Fällen, in welchen die Oberarme beträchtlich über die Horizontale gehoben sind (Figg. 42—46) handelt es sich in Wirklichkeit nicht um eine rein seitliche Hebung.

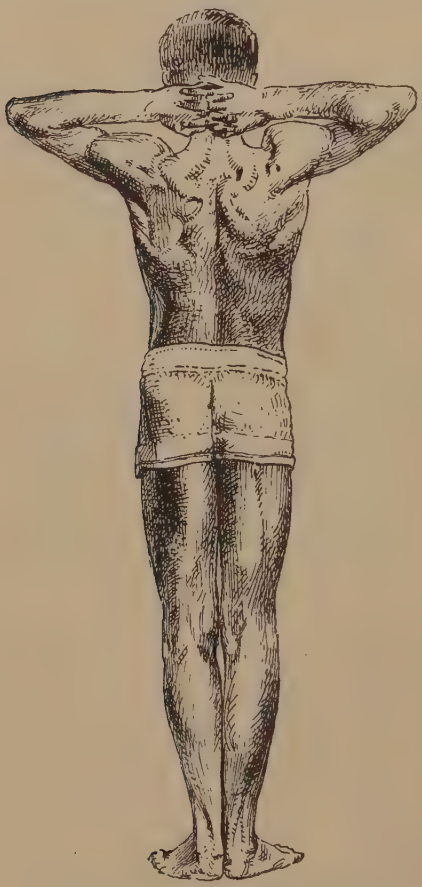


Fig. 41. Umzeichnung nach Steinemann.

Mit der seitlichen Hebung verbindet sich fast von Anfang an eine leichte Hebung der Schulterhöhe (der Clavicula). Dieselbe erreicht aber selbst bei stärkster Hebung des Armes niemals einen so hohen Betrag, wie bei „reiner (translatorischer) Schulterhebung" mit an den Leib geschlossenen Armen (Achselzucken, Fig. 52).

Dieses Verhalten findet in folgendem seine Erklärung. Zur Erleichterung der seitlichen Hebung des Armes stellt sich das Schulterblatt mit seiner Hauptebene möglichst frontal. Dies wird bewirkt durch die Rückführung der Schulter. Das Schulterblatt nähert sich dabei der hinteren Mittellinie, der postklavikulare Schultergürtelwinkel wird verkleinert, der Processus coracoides tritt unter der Clavicula vor, das

lig. trapezoides spannt sich. Die seitliche Hebung des Armes könnte nun weiter unterstützt werden durch eine Aufrichtungsdrehung des Schulterblattes in frontaler Ebene gegenüber dem Stamm. Eine solche kann aber durch Umstellung in der äußeren Schlüsselbeinjunktur bei rückgeführter Schulter nur in geringem Betrage stattfinden, weil das Trapezoidband bereits gespannt ist. Die Aufrichtungsdrehung kann also im wesentlichen nur im inneren Schlüsselbeingelenk stattfinden (um eine dorso-ventrale Achse, wobei die Scapula sich in fester Versteifung mit der Clavicula bewegt, die Clavicula aber zugleich mit der Hebung um ihre Mittellinie aufwärts rotiert). Die Miterhebung der Schulterhöhe ist also verständlich.

Fig. 42. Umzeichnung nach Steinemann.

Dazu kommt nun aber als mindestens ebenso wichtiger Umstand noch folgendes. An der Rückführung des Oberarmes ist nicht bloß das Schulterblatt beteiligt, sondern vor allem eine starke Dorsalablenkung des Humerus im Schultergelenk. In dieser Stellung aber kann der Humerus nicht so weit im Schultergelenk gehoben werden, wie in der Hauptebene des Schulterblattes oder in leicht ventralwärts abgelenkter Stellung. Er wird in der Hebung früh durch das Akromion gehemmt.

Bei der Aufrichtungsdrehung des frontalgestellten Schulterblattes, mag sie im äußeren oder inneren Schlüsselbeingelenk geschehen, muß nun aber schließlich, trotz der Annäherung des Angulus scapulae an die hintere Mittellinie die Spitze des Schulterblattes am Stamm seitlich heraustreten. Diesem seitlichen Heraustreten wird eine Grenze gesetzt durch die Anspannung der Faszie und der Haut. Die Faszie zeigt sich über der Schulterblattspitze und den sie bedeckenden Muskeln (Ursprung des Teres major und oberer Rand des Latissimus dorsi) geradezu zu einer Art Faszienhalfter verstärkt, welche die Spitze des Schulterblattes niederhält, worauf Mollier zuerst hingewiesen hat. Es liegen aber auch die Verhältnisse der Stamm-Schultergürtelmuskeln ungünstig für eine stärkere seitliche Aufrichtung des Schulterblattes, wie später gezeigt werden soll.

Dagegen stehen solche Hindernisse der Aufrichtung des Schulterblattes zunächst nicht im Wege bei der Hebung des Armes nach vorn, wobei das Schulterblatt infolge Vorführung der Schulter von der hinteren Mittellinie weiter entfernt und mehr sagital umgestellt ist. Vor allem ist die Vorführung der Schulter mit Ventralablenkung des Humerus im Schultergelenk verbunden, wodurch weitergehende Hebung des Humerus in diesem Gelenk ermöglicht wird. Dann aber kann hier die Aufrichtung des Schulterblattes ausgiebiger in der äußeren Schlüsselbein-

junktur, ohne Beteiligung des Sternoklavikulargelenkes und namentlich ohne Erhebung des Akromialendes ausgeführt werden. Eine weitergehende Aufrichtungsdrehung des Schulterblattes bei vorgeführter, nicht gehobener Schulter müßte allerdings zuletzt zum Heraustreten der Schulterblattspitze aus der Stammoberfläche nach vorn führen und ähnliche Hindernisse finden wie das seitliche Heraustreten. Das Vortreten wird aber vermieden, wenn statt weiterer Vorbewegung der Spitze des sagittal umgestellten Schulterblattes nun zum Schluß eine Hebung und Rückbewegung der vorgeführten Schulter stattfindet. Die absolute Auf-

Fig. 43.

richtung des Schulterblattes (gegenüber dem Stamm) wird hierdurch vermehrt. Das Sternoklavikulargelenk kann bei dieser Drehung beteiligt sein, insofern als die Clavicula um ihre Mittellinie aufwärts rotiert; der Rest der Aufrichtungsdrehung vollzieht sich zwischen Scapula und Clavicula in der äußeren Schlüsselbeinjunktur. Dabei kann die Subscapularisinnenfläche allerdings oben hinten nicht der Stammwand anliegend bleiben, sondern muß sich von ihr, von hinten beginnend, abrollen. Es ist dies möglich, indem die mächtigen Muskelmassen zwischen der Basis scapulae und der Wirbelsäule zusammengeschoben oder verkürzt und verdickt sind und sich in den entstehenden Zwischenraum hineinlegen.

Je weiter nun die Schulterhöhe anfänglich vorgeführt ist, desto besser kommt eine Aufrichtung des Schulterblattes unter engem Anschluß der Spitze an die Brust-

rand und fortschreitender sagittaler Umstellung der Vorhebung des Armes zugut. Die Aufrichtungsdrehung des Schulterblattes kann schon ohne weitere Beteiligung es Sternalgelenkes einen höheren Betrag erreichen als bei der seitlichen Aufrichtung, weil nicht bloß die Hemmung an der Spitze des Schulterblattes, sondern auch diejenige in der äußeren Schlüsselbeinjunktur erst erheblich später eintritt. Die Drehung in der äußeren Schlüsselbeinjunktur geschieht ja jetzt um eine Achse, welche mehr dem Akromialende des Schlüsselbeins parallel läuft. Dabei kann die Verkürzungsfähigkeit des unteren Serratus in weitergehendem Maße ausgenutzt werden, worauf wir weiter unten noch zurückkommen werden. Das Schlüsselbein wird tatsächlich zunächst bei der Vorhebung des Armes bis zur Horizontalen nicht wesentlich und nur entsprechend der stärkeren Vorführung gehoben, dann aber deutlich (nach R. Fick um 20—25°) rückwärts geführt und dabei zum Schluß nicht unbeträchtlich (mit seinem äußeren Ende nach Mollier um 4—5 cm) gehoben. Unter Umständen geschieht dies, ohne daß gleichzeitig eine Längsrotation des Schlüsselbeines nach oben stattfindet, indem gegenüber dem äußeren Schlüsselbeinende ein weiteres Vorpendeln des Schulterblattes noch möglich ist. Eine genaue Beobachtung hat aber gezeigt, daß in vielen Fällen das Schlüsselbein bei seiner Rückführung zugleich um seine Längsachse mehr oder weniger stark aufwärts gedreht wird (Steinhausen 1899, Merkel 1905). Es deutet dies an, daß die Aufrichtungsbewegung des Schulterblattes in der äußeren Schlüsselbeinjunktur nicht mehr weiter geführt werden kann, sondern nur noch möglich ist unter Verstemmung der Scapula mit der Clavicula und Mitdrehung der letzteren im sternalen Gelenk.

Fig. 44.

Steinhausen gibt an, daß diese Drehung der Clavicula meist schon beginnt, bevor der Arm bei seiner Hebung die horizontale Lage erreicht hat, und daß sie bis zur Hebung auf 150° andauert. Bei etwa 30% der Versuchspersonen sei jedoch eine Längsrotation der Clavicula überhaupt nicht wahrzunehmen, gleichgültig in welcher Ebene die Hebung stattfindet. Auch schwanke die Größe der Rotation, wo sie vorhanden ist, in ziemlich weiten Grenzen. Im höchsten Fall betrage sie 25°. Sie könne sogar bei der gleichen Person auf beiden Seiten verschieden sein. Derartige Differenzen erklären sich wohl leicht aus den Verschiedenheiten in der Konfiguration des Rabenschnabelfortsatzes, seiner Entfernung von der Clavicula usw. (Steinhausen, Du Bois' Arch. 1899. Deutsche med. Wochenschr. 1901. Nr. 32).

Von ganz besonderer Bedeutung aber ist bei der Hebung des Armes nach vorn der Umstand, daß diese Hebung in ventral abgelenkter Stellung des Humerus gegenüber dem Schulterblatt geschieht; hier fällt die Hemmung der Hebebewegung (Extension) im Schultergelenk durch das Akromion weg. Ein ganz bedeutender Betrag der vermehrten Gesamtexkursion gegenüber dem Thorax fällt auf Rechnung der ausgiebigeren Hebung im Schultergelenk.

4. Rückbewegung des Armes.

Unter allen bis jetzt besprochenen Bewegungen des Schulterblattes gegenüber der Clavicula ist nur die mit der Armhebung verknüpfte annähernd eine Pendelbewegung um die Aufhängungslinie des Schulterblattes. Aber selbst bei stärkster Erhebung des Armes aus der Grundstellung ist die um diese Linie am Bänderpräparat mögliche Exkursion nicht entfernt ausgenutzt. Es handelt sich bei der Grundstellung des Armes um eine Art mittlere Pendelstellung, und bei der Hebung des Armes nach vorn um das Vorpendeln des Schulterblattes. Ein Pendelanschlag des Schulterblattes nach hinten kommt erst zur Geltung bei der Rückführung des Armes aus der Grundstellung. Das Schulterblatt bleibt beim Beginn der Rückbewegung des vorwärts gehobenen Armes zunächst ruhig sagittal gestellt (Lewinski). Das Akromion wird vorgeführt. Die Mittellinie des Schulterblattes stellt sich dann aber mehr und mehr quer zum Thorax. Zuletzt steigt die Basis scapulae medianwärts ab; das Schulterblatt wird dabei in die frontale Stellung übergeführt und an die Hinterseite des Stammes gebracht. Bei der maximalen Rückführung des Armes kommt nun die mögliche Pendelexkursion nach hinten vollkommen zur Ausnutzung.

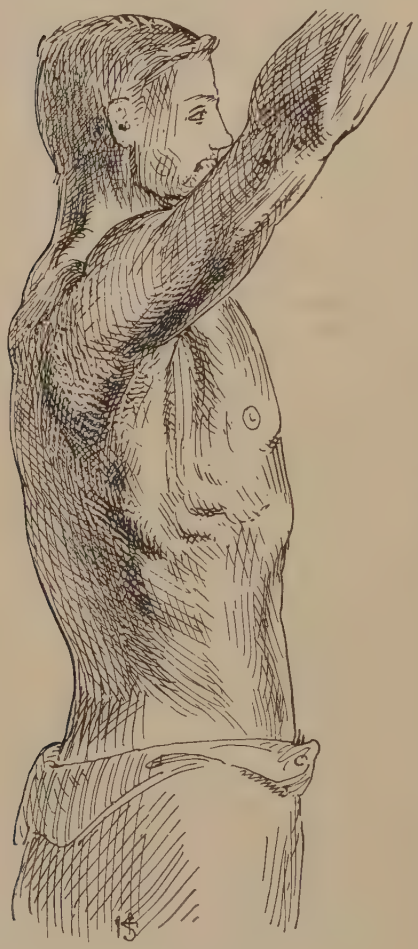


Fig. 45.

Die in der Schulterblatt-Schlüsselbeinverbindung am Bänderpräparat besonders leicht und ausgiebig vor sich gehende Drehung des Schulterblattes um die Linie der Aufhängung wird also beim Lebenden dann voll und ganz ausgeführt, wenn der Arm aus der Stellung starker Rückbewegung in die Stellung stärkster Hebung nach vorn übergeführt wird und umgekehrt. Man erkennt, daß die Exkursionsmöglichkeiten der Scapulo-Klavikularverbindung (Bänderpräparat) in Übereinstimmung sind mit den Exkursionen der Teile beim Lebenden.

Die Umrollung der Tangentenebene nach vorn zur mehr sagittalen Einstellung kann nicht so weit geschehen, daß die Pfanne der Scapula

anz nach vorn sieht. Sollen also die Arme parallel zueinander nach rn gehoben werden, so müssen sie aus der Hauptebene des Schulterattes noch ventralwärts abgelenkt sein. Die sagittale Umstellung s Schulterblattes dient übrigens, wie leicht ersichtlich, nicht bloß der ebung des Armes, sie unterstützt auch die Ventralbewegung des gebenen und die Einwärtsrollung des herabhängenden Armes, während ngekehrt das Kreisen der Arme nach den Seiten und rückwärts, sowie e Auswärtsrotation des nach unten gestellten Armes durch die Rückhrung des Schulterblattes (Einstellung in mehr frontale Richtung) unterätzt werden kann. Beim horizontalen Armkreisen ist nicht bloß die ichtungsänderung der Gelenkpfanne, sondern auch die Vermehrung r Exkursion um den absoluten Betrag der Bewegung des Schulterlenkes von Vorteil.

Vergrößerung der Exkursionen des Armes durch die Beteiligung der Schulter, des Stammes und der Beingelenke.

1. Umfang der möglichen Exkursion.

Hinsichtlich des Umfanges der möglichen Exkursionen s freien Armes ist folgendes zu sagen: Das Exkursionsgebiet der ingslinie des Humerus im Schultergelenk entspricht kaum dem hten Teil des um das Schultergelenk herumliegenden Raumes. Wie hon auf S. 29 hervorgehoben wurde, ist durch die Mittelstellung ndurch Axillarextension im Maximum so weit möglich, daß die Längsie des Humerus in der Fortsetzung der Mittellinie des Schulterblattes liegen kommt, und Axillarflexion soweit, daß der Humerus dem ateralrand des Schulterblattes anliegt. Die ganze betreffende Exkursion trägt etwa 110—120° im Mittel, die Dorsoventralexkursion 80—90°. ie mögliche Dorsalablenkung beträgt ca. 30°, die mögliche Ventralblenkung aus der Skapularebene im Maximum ca. 50°. Der Betrag r möglichen Längsrotation in mittleren Stellungen ist ungefähr 90°. ie ganze gegenüber dem Thorax mögliche Aufrichtungsdrehung des chulterblattes schätzen wir auf ungefähr 40—45° (ca. 40° nach Braune nd Fischer); die stärkste Drehung aus der Frontal- in die Sagittalellung kann bei mäßig gehobenem Arm etwa 40°, bei steiler aufgechtetem Arm und Schulterblatt aber noch mehr betragen.

Dank der Mitbewegung des Schulterblattes zum Stamm nn die Hebung des Armes gegenüber dem Thorax von hinten unten ch oben vorn bis annähernd auf 150—160° gesteigert werden, die orsoventralexkursion bis auf 120—135°. Es kann so von der Längsie des Arms gegenüber dem Thorax noch nicht die Hälfte des um das hultergelenk herumliegenden Raumes besucht werden. Wenn aber ch Streckung und Beugung in der Wirbelsäule, in den Hüftlenken und Seitenneigung und Torsion in den Gelenken der Wirbel-

säule und der Hüfte hinzukommen, so wird es möglich, bei gestrecktem Arm die Hand aus einer Extremlage sowohl im horizontalen als im vertikalen Bogen ringsherum bis wieder an dieselbe Stelle zu führen und so mit ihr gleichsam eine volle, um die Schulter herumliegende Kugelfläche zu bestreichen.

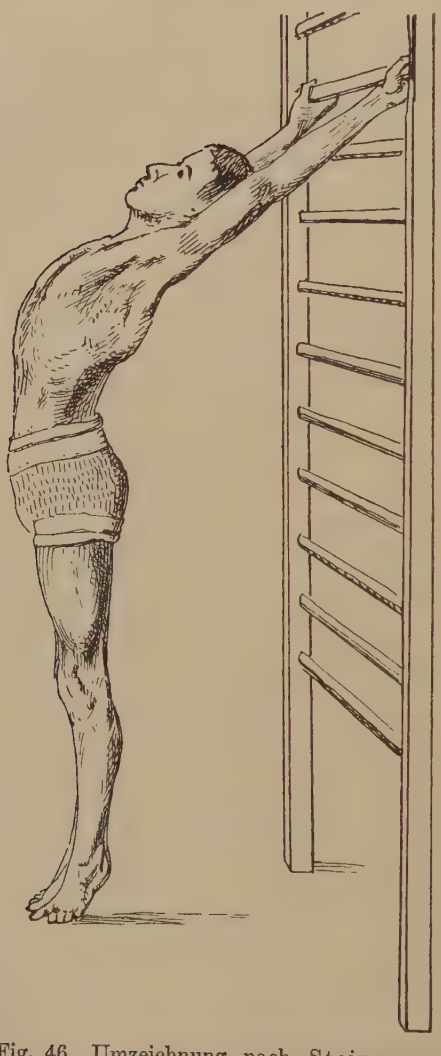


Fig. 46. Umzeichnung nach Steinemann.

R. Fick hat in der Tafel IXa und IXb seines Lehrbuches das Exkursionsgebiet des Humerus im Schultergelenk nach der von mir zuerst verwendeten Methode kartographisch dargestellt, und zwar entsprechend meinem Befund an einem normalen Schultergelenk der rechten Seite (innere punktierte Kurve IXa) und nach den Befunden von Braune und Fischer an dem linken und rechten Schultergelenk eines und desselben Leichnam (innere ausgezogene Kurve in IXa und IXb). Er hat in die gleiche Karte auch die Verkehrsgrenzen eingezeichnet, die sich nach Braune und Fischer ergaben bei Mitbewegung im äußeren Schlüsselbeingelenk (gestrichelte Kurve) und bei Mitbewegung in beiden Schlüsselbeingelenken (äußere ausgezogene Kurve).

Wenn aus Gründen, die oben dargelegt wurden, einer Orientierung des Gradnetzes der Vorzug gegeben wird, bei welcher der Äquator mit der Skapularebene zusammenfällt, so könnten die Karten von R. Fick in entsprechender Weise abgeändert werden.

2. Zeitliche Verhältnisse des Zusammenwirkens.

Die Bewegung in den übrigen Gelenken erfolgt, wie bereits erwähnt wurde, nicht erst, wenn die Bewegung im Schultergelenk nich

hr weitergeführt werden kann, sondern beginnt schon früher. Das hulterblatt bewegt sich fast von Anfang an mit, wenn auch vielleicht Anfang die Bewegung im Schultergelenk, insofern sie den bewegenden skeln gegenüber die geringeren Widerstände bietet, überwiegt. Auch Bewegung des Rumpfes setzt ein, bevor die Bewegung zwischen amm und Schulter erschöpft ist. Dabei kann die Art der Kombition je nach Umständen wechseln.

Auf diesen Umstand möchte ich besonderes Gewicht legen. Er klärt manche Differenzen der Beobachter.

Eine gleichzeitige Aktion in allen Gelenken, welche zu einer gensichten Exkursion etwas beitragen können, wird für den Schluß der samtbewegung zur absoluten Notwendigkeit, wo es sich um Erlung einer großen Geschwindigkeit des bewegten Endes der Exnität resp. um Erteilung einer großen Beschleunigung an einen m Ende gehaltenen Körper handelt, so beim Hieb und Stoß und beim arf. Dieser Punkt wird in einem späteren Kapitel noch genauer ert werden.

G. Die zwischen Schulter und Stamm irkenden Kräfte (theoretische Analyse).

Vorbemerkungen.

Im folgenden wird der Versuch unternommen, die in der Schulter geneinander wirkenden Kräfte in einer Weise zu analysieren, daß Bedingungen der Feststellung der einzelnen Partialmassen durch äußeren und inneren Kräfte des Körpers für verschiedene Situationen nigstens annäherungsweise richtig überblickt und eingeschätzt werden nnen. Weiterhin soll auch gezeigt werden, wie die instantane begende Einwirkung einer einzelnen, an der Schulter oder am Stamm greifenden äußeren, oder einer zwischen beiden Teilen wirkenden neren Kraft, welche das Gleichgewicht stört, zu beurteilen ist.

Die Feststellung der einzelnen Junkturen ist, wie bereits des eren hervorgehoben wurde, dann gegeben, wenn an jeder einzelnen rtialmasse Gleichgewicht zwischen allen einwirkenden Kräften beht. Abgesehen von den äußeren Kräften sind also bei der Festllung und Bewegung der Schulter die in den Junkturen und an den rührungsstellen zwischen Stamm und Schulter wachgerufenen Widernde und die Spannungen der vom Stamm zum Schultergürtel und m Arm gehenden Muskeln in Betracht zu ziehen. Wir nehmen einstilen das Schultergelenk als festgestellt an und betrachten das Schulterstt mit den anliegenden Muskeln und dem ganzen freien Arm als die e Partialmasse (Schulterarmkomplex), den ganzen übrigen, in h versteift gedachten Körper als die andere Partialmasse. Die Clavula soll als ein Zwischenglied betrachtet werden, dessen Masse wir rnachlässigen dürfen. Die Wirkung der am Schlüsselbein direkt an-

greifenden Muskeln zur Bewegung des Schulterarmkomplexes mu aber ausdrücklich berücksichtigt werden. Es genügt, wenn wir im all gemeinen die eine Seite der Einwirkung der äußeren und der zwische Schulter und Stamm zur Geltung kommenden inneren Kräfte, diejenig auf den Schulterarmkomplex untersuchen. Wenn für letzteren Gleich gewicht der Kräfte besteht, so halten sich die Gegenkräfte, die auf di andere Partialmasse einwirken, an dieser ebenfalls Gleichgewicht.

Als Ergänzung zu den auf S. 87 gegebenen Definitionen seie zunächst eine Anzahl abkürzender Bezeichnungen und Buchstaben ein geführt:

Unter Akromialpunkt a verstehen wir den Schnittpunkt de Achsen in der Scapuloklavikularjunktur. Ohne großen Fehler (für di folgende Betrachtung) kann an genommen werden, daß er mi der Mitte des Akromialgelenke zusammenfällt. Der Akromial punkt verkehrt in der hintere äußeren Partie der um da Sternoklavikulargelenk herum gelegten Exkursionskugelfläch (S, Fig. 31). Der vom Akro mialpunkt am weitesten nac dem Brustkorb hin entfernt Punkt c des Processus coraco ides beschreibt um den Akro mialpunkt einen Teil einer klei neren Exkursionskugelfläche C Die äußere und hintere Seit des Bruststammes stellt ein dritte, mehr oder weniger ellip soidische Fläche dar, an wel cher die innere Grenzfläch der Scapula resp. des Sub scapularis als Tangenter ebene TT anliegt. Diese Tan gentenebene trifft die Exku sionskugelfläche C im Punkte und berührt die Thoraxfläch im Punkte τ. Ihr eigener Be rührungspunkt, der mit τ zu sammenfällt, sei σ. Eine zu T parallele, durch den Akromialpunk gehende Ebene EE hat ihren Nahepunkt ν zum Thorax in eine in τ resp. σ senkrecht zur Thoraxfläche, zu TT und zu EE verlaufende Geraden. Die gerade Verbindungslinie von c und σ sei als sub skapulare, die gerade Verbindungslinie von a und ν als skapular Brückenlinie bezeichnet. Die Ebene, welche senkrecht zu den Brücke linien durch die Punkte τ und ν geht, sei als $Q\tau$-Ebene bezeichnet, d Linie, in welcher sie die E-Ebene schneidet, mit qq.

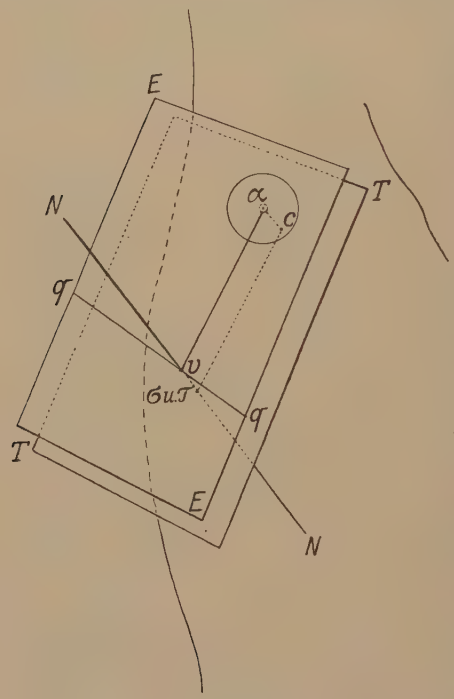


Fig. 47.

α) Statische Aufgaben.

Mag es sich um einen völlig freien, oder um einen an äußeren ...ützpunkten angelehnten, aufgestützten, angehängten oder vollkommen ...stgehaltenen Arm handeln, so kann man sich, sobald Schulterblatt ...d Arm zusammen vertieft sind, die Angriffspunkte der am Schulter...mkomplex angreifenden Kräfte bis in die Ebene E verschoben und ...ort mit dem Schulterblatt starr verbunden denken. Alle an dem ...hulterarmkomplex angreifenden Kräfte P (Fig. 48) lassen sich nach ...rer Größe und Kraftlinie durch Vektoren von bestimmter Länge dar...ellen, und diese können ersetzt werden durch ihre Projektionen R ...f die Ebene E und durch die zu E senkrecht stehenden „Normal...omponenten" N.

Eine Normalkomponente N im Punkte a der Ebene E läßt sich ...setzen durch zwei zu ihr parallele Komponenten, die in der Ebene ...irken, welche durch die Kraft...nie von N und durch den Akro...ialpunkt gelegt ist; die eine der...lben, N_α geht durch den Akro...ialpunkt, die andere N_q durch ...en Punkt b, in welchem die Ge...de q q jene Ebene trifft. Alle ...erartigen, in der Geraden q q ...greifenden Teilkräfte der Normal...omponenten lassen sich schließ...ch durch eine senkrecht zu E ...n irgend einem Punkt der Ge...den q q angreifende Resultierende ...$_q{}^1$ ersetzen (oder allenfalls durch ...in Kräftepaar in der senkrecht zu ... durch q q gelegten Ebene, oder ...urch eine Kraft $N_q{}^1$ und ein sol...hes Kräftepaar).

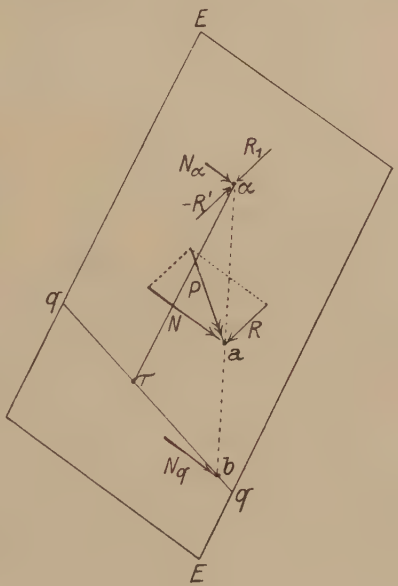


Fig. 48.

Die in der Linie q q angreifen...en Kräfte N_q können nach dem ...rustkorb hin oder umgekehrt ...irken. Im ersten Fall vermehren ...ie den Druck an der Berührungs...telle, im zweiten Fall verringern ...ie ihn und wirken abhebend. Außerdem haben sie, wenn sie nicht mit ...em Punkt τ zusammenfallen, einen Einfluß zur Drehung des Schulter...lattes um die subskapulare Brückenlinie und resp. die Gerade, welche ...en Berührungspunkt τ mit dem Sternoklavikulargelenk verbindet, ...etzteres, in sofern die Einwirkung auf die Scapula durch das Skelett ...uf das Schlüsselbein übertragen wird. Kommt aber wirklich infolge ...ieser Einwirkungen im Akromialgelenk oder im Sternoklavikulargelenk ...Bewegung zustande, so kann man sie als „Rollbewegung" bezeichnen; ...ie ist bei hochstehendem Akromion, mittlerer Vor- und Rückführung

desselben und mittlerer Aufrichtung des Schulterblattes am eheste möglich, wird aber auch hier früher oder später dadurch gehemmt daß sich der Berührungs- und Druckmittelpunkt τ der Kraftlinie N nähert, und daß auf der Seite der Abrollung Abhebungswiderständ wachgerufen werden. Drehung im Sternoklavikulargelenk um die Linie welche letzteres mit τ verbindet, wird übrigens nur in seltenen Fälle in bemerkbarer Weise zustande kommen, da ja N_q zu dieser Linie meis annähernd parallel läuft; wir können sie im folgenden füglich fürs erst vernachlässigen.

Es bleibt dann nur noch zu berücksichtigen die Resultierend $N_\alpha{}^1$ der senkrecht zu E auf den Punkt α entfallenden Anteile der „Normal komponenten, sowie die resultierende Kraft R^1 in E (resp. ein Kräfte paar in dieser Ebene). R^1 in E kann eventuell ersetzt werden durch eine gleich große und gleich gerichtete Kraft R^1 im Akromialpunkt α und durch ein Kräftepaar in E, dessen Moment $= R^1 . z$ ist, wobei z den Ab stand der Kraft R^1 von α bedeutet.

Man hat also schließlich nur zu berücksichtigen:

1. eine Kraft $N_\alpha{}^1$ senkrecht zu E in α;
2. eine in der Ebene E gegen α hinwirkende Kraft R^1;
3. ein in der Ebene E wirkendes Kräftepaar vom Moment $R^1 . z$

Unter Umständen kann aber die Resultierende R^1 sämtlicher i die E-Ebene entfallenden Kräftekomponenten durch α gehen — dann ist $R^1 . z = 0$; oder $R^1 = 0$. Dann kann noch ein Kräftepaar in E vorhanden sein.

Im Falle der Feststellung der Schulter müssen sich die Resultie renden sämtlicher am Schulterarmkomplex angreifenden Kräfte zu sammen Gleichgewicht halten, resp. es müssen alle N_α und alle R zu sammen je $= 0$ sein, und auch die Resultierende aller in der E-Ebene wirkenden Kräftepaare muß $= 0$ sein.

Man kann aber auch zunächst nur die äußeren am Schulterarm komplex angreifenden Kräfte in dieser Weise zerlegen und durch Kräfte in E, q und α ersetzen. Es müssen dann die vom Schlüsselbein und vom Stamm her einwirkenden inneren Kräfte des ganzen Systems abgesehen von dem Abhebungs- und Druckwiderstand an der Berüh rungsstelle τ den Kräften $N_\alpha{}^1$, R^1 und dem Kräftepaar $R^1 . z$, soweit sie von den äußeren Kräften herrühren, Gleichgewicht halten.

Dem in E wirkenden Kräftepaar ist Gleichgewicht gehalten, wenn die Summe der statischen Momente der vom Schlüsselbein oder Stamm her auf den Schulterarmkomplex einwirkenden Kräfte mit Bezug auf eine durch α senkrecht zu E gerichtete Achse dem Moment $R^1 . z$ des Kräftepaares in E der Größe nach gleich ist, bei entgegengesetztem Sinn des resultierenden Drehungseinflusses.

Die Schulter ist aber in beiden Klavikulargelenken nur festgestellt wenn außerdem alle vom Stamm auf den Schulterarmkomplex ein wirkenden Kräfte den statischen Momenten von R^1 und $N_\alpha{}^1$ mit Bezug auf die Hauptachsen des Sternoklavikulargelenkes Gleichgewicht halten

Bei mittleren Gelenkstellungen kann man die exaxialen Wider stände, welche in der Scapuloklavikularjunktur selbst einer Drehung

s Schulterblattes parallel E und im Sternoklavikulargelenk einer be-bigen Drehung der Clavicula entgegenwirken = 0 setzen. Der Wider-and gegen diese Drehungen muß also in den mittleren Gelenkstellungen urch Muskeln geleistet werden.

Insofern die Gegenkräfte gegen ein parallel zu E wirkendes, von n äußeren Kräften am Schulterarmkomplex herrührendes Kräftepaar n der Clavicula ausgehen, mögen es Muskelkräfte oder Widerstände r Junktur selbst sein, wirken Kräfte gleicher Größe, aber in umge-hrter Richtung in den gleichen Kraftlinien vom Schulterarmkomplex r auf die Clavicula und haben dann im allgemeinen auch einen dre-nden Einfluß auf die Clavicula im Sternoklavikulargelenk. Diesem uß durch besondere zwischen Stamm und Clavicula wirkende Kräfte leichgewicht gehalten sein.

Die inneren Kräfte, welche zwischen den beiden Partialmassen .o.) wirken und an beiden den äußeren Kräften Gleichgewicht halten, nnen also in zwei Gruppen zerfallen: die einen wirken direkt unter berspringung der Clavicula vom Stamm auf den Schulterarmkomplex id umgekehrt, die anderen wirken durch die Clavicula hindurch und id repräsentiert durch besondere innere Kräfte und Gegenkräfte nerseits am Sternoklavikulargelenk, andererseits an der äußeren chlüsselbeinjunktur.

So können in extremen Stellungen der äußeren Schlüsselbeinjunktur durch nflüsse zur Drehung des Schulterblattes parallel der E-Ebene (Kräftepaar) Zug-derstände in Bändern dieser Junktur wachgerufen werden, oder es treten Muskeln Spannung, die an der Clavicula entspringen und von ihr zum Arm gehen (Del-ideus, Pectoralis major). Zugleich mit den Zugspannungen werden aber auch uckwiderstände oder entgegengesetzte Bänderspannungen in der Junktur selbst chgerufen, so daß ein Widerstandskräftepaar entsteht, welches dem parallel E wirkenden, von den äußeren Kräften herrührendem Kräftepaar teilweise er ganz Gleichgewicht hält. Soweit dies geschieht, überträgt sich gleichsam e Wirkung des Drehungseinflusses der äußeren Kräfte parallel E auf die Clavi-la und müssen ihm besondere Drehungswiderstände zwischen Stamm und Clavi-la Gleichgewicht halten. In beiden Junkturen muß es sich dabei um die eiche Richtung der Drehungsebenen und gleich große Momente der Kräftepaare ndeln (s. I. Bd. S. 55).

Für den Rest der Einwirkung der äußeren Kräfte auf den Schulterblatt-mplex gilt, daß die ihm direkt vom Stamm aus entgegenwirkenden Kräfte sich ganz gleicher Weise zerlegen lassen (abgesehen von den Gegenkräften an der erührungsstelle der Scapula mit dem Thorax), in Gegenkräfte gegen die Reste s Kräftepaares in E und in solche gegen die Reste von $N\alpha$ und R^1 in α.

Durch die vorausgehende Betrachtung ist das Problem der Be-ingungen zur Feststellung der Schulter in den beiden Klavikularjunk-uren erheblich geklärt und vereinfacht. Es hat sich gezeigt, daß nur anz bestimmte Komponenten der äußeren und inneren Kräfte für sich llein bewegenden Einfluß haben. Es ist vor allem gelungen, die Ein-üsse, welche an der Kontaktstelle zwischen der Schulterblattgrenz-bene und dem Thorax in einer zur skapularen Brückenachse senk-chten Ebene Q_t wirken, zu bestimmen und als unwirksam zur Be-

wegung in den Schlüsselbeinjunkturen zu eliminieren. Was die in c angreifenden Kräfte R^1 und N_α und ihre Gegenkräfte betrifft, so bleibt noch zu bemerken, daß nur ihre quer zur Klavikularlängslinie gerichteten Komponenten für die Bewegung im Sternoklavikulargelenk in Betracht kommen; die in die Längsrichtung der Clavicula entfallenden Komponenten wirken als Zug oder Druck in dieser Linie nach dem Sternoklavikulargelenk hin. Ein Einfluß zur Drehung der Clavicula um ihre Längsachse kann sich aus dem parallel der E-Ebene wirkenden Kräftepaar ergeben (zugleich mit drehenden Kräftepaarkomponenten, welche in Längsebenen der Clavicula wirken), insofern als in der äußeren Schlüsselbeinjunktur selbst Widerstände gegen die isolierte Drehung des Schulterarmkomplexes parallel E wachgerufen werden.

In der Regel werden die Verhältnisse der Konfiguration und Massenverteilung, sowie der äußeren Kräfte bekannt sein und gilt es, die Wirkungsweise der Muskeln und die Inanspruchnahme des Skelettes, insbesondere an den Gelenken zu bestimmen. Letztere läßt sich annäherungsweise aus der Stellung der Gelenke erschließen, so daß die Rolle, welche den Muskeln zufällt, im ganzen bestimmt werden kann. Bei jedem einzelnen Muskel ist ferner die Zerlegung der Kräfteeinwirkung in ihre verschiedenen Komponenten für jede Stellung der Schulter leicht durchführbar. Das Verhältnis zwischen den Spannungsgrößen der verschiedenen Muskeln kann zwar nicht direkt ermittelt werden, doch lassen sich darüber verschiedene Annahmen machen und es kann geprüft werden, welche der gemachten Annahmen am besten den Erfordernissen der Situation genügt.

β) Kinetische Aufgaben.

Sind die Bedingungen des Gleichgewichtes der Kräfte, welche an den in der Schulter zusammentreffenden Partialmassen angreifen, erfüllt, indem diese Partialmassen und die Schulterjunkturen festgestellt sind, so genügt ein kleiner äußerer Impuls oder eine kleine Änderung in der Spannung eines der Muskeln, welche über jene Junkturen hinweggehen, um Bewegung hervorzurufen. Die neu hinzugekommene Kraft läßt sich in der oben angegebenen Weise zerlegen in eine Kraft, welche parallel der Normalen $\nu\tau$ der Berührungsstelle in der Q_τ-Ebene wirkt, in eine dazu parallele Komponente N_α in α, eine in der E-Ebene gegen α gerichtete Komponente R^1 und ein in der Ebene E wirkendes Kräftepaar. Es kann aber die resultierende, auf α wirkende Kraft nicht eine Drehung der Clavicula um eine Querachse im Sternoklavikulargelenk hervorrufen, ohne daß der Schulterarmkomplex mitgenommen wird. Und zwar wird der Massenmittelpunkt desselben im allgemeinen in geringerem Maße und nicht ganz in derselben Richtung bewegt werden, die innere Grenzebene der Scapula schleift dabei an der Thoraxwand. Andererseits kann die vom Kräftepaar in der E-Ebene hervorgerufene Drehung, welche eigentlich um den Massenmittelpunkt des Schulterarmkomplexes stattfinden müßte, nicht erfolgen, ohne etwelche Behinderung durch die Clavicula, wodurch auch wieder der Massenmittel

punkt des Schulterarmkomplexes in seinem Bewegungszustand beeinflußt wird. Das Verhältnis der Drehungen in den beiden Schultergürteljunkturen nach ihren Achsenrichtungen und den Winkelgrößen richtig zu beurteilen, ist eine außerordentlich schwierige Aufgabe, ebenso wie die genaue Feststellung der Bewegungsbahnen der wichtigsten Punkte der Schulter.

Hier muß unbedingt eine vereinfachte Betrachtungsweise Platz greifen. Die Bewegung des Schulterarmkomplexes ist in bestimmtem Grade zwangläufig. Der Akromialpunkt kann nur in einer Kugelfläche um das Sternoklavikulargelenk verschoben werden, die innere Grenzfläche des Schulterblattes verhält sich stets wie eine Tangentenebene zur Brustwand. Bei „reiner" Hebung und Senkung der Schulter nach dem Kopf zu und von ihm weg bleibt die Grenzebene ungefähr gleich gerichtet, die Bewegung ist annähernd eine Translationsbewegung.

Die reine Vor- und Rückführung ist eine Translationsbewegung mit stetig sich ändernder Richtung, kombiniert mit etwelcher Drehung der Scapula um eine vertikale Achse des Akromialgelenkes, zu besserer Sagittal- resp. Frontalstellung und auch mit etwelcher Drehung um eine dorsoventrale und um eine bilaterale Achse.

Bei der Aufrichtung und Querrichtung ändert sich die Richtung der inneren Grenzebene ebenfalls. Für kleine initiale Bewegungen aber kann man ohne großen Fehler annehmen, daß sie parallel der E-Ebene stattfinden. Es trifft diese Annahme um so besser zu, je besser die Längslinie des Schlüsselbeins zur inneren Grenzfläche der Scapula senkrecht steht. Nur insofern als dies wirklich zutrifft und die Widerstände der Stellungsänderung in den Klavikularjunkturen vernachlässigt werden können, ebenso wie die Reibung an der Berührungsstelle mit der Brustwand, verhält sich der Schulterarmkomplex wie eine freie Masse, die nur parallel der E-Ebene bewegt werden kann, und für deren Bewegung nur Kräfte in Betracht kommen, die in der E-Ebene wirken. Man erkennt leicht, daß eine solche Annahme mit Fehlern verbunden ist. Trotzdem müssen wir zu derselben unsere Zuflucht nehmen. Es bleibt die Möglichkeit, nachträglich noch den vom Schlüsselbein ausgehenden hemmenden Einwirkungen Rechnung zu tragen und auch noch die Kräfte zu berücksichtigen, welche in der Q_r-Ebene zum Kraftschluß beitragen und auch unter Umständen eine beschränkte Rollung über die jeweilige skapulare Brückenlinie bewirken.

1. Kleine initiale Bewegungen bei freiem Schulterarmkomplex.

Die in der E-Ebene wirkenden Kräfte und Kräftepaare können nach dem Projektionsverfahren ermittelt werden (s. Bd. II, S. 392). Bei der Projektion auf die E-Ebene verschwinden alle anderen auf den Schulterarmkomplex einwirkenden Komponenten. Im Falle der Feststellung des letzteren müssen die erstgenannten Einflüsse unter-

einander im Gleichgewicht sein. Irgend eine neu hinzukommende äußere oder von den Muskeln herrührende Einwirkung ergibt in der E-Ebene eine Projektion p, welche ersetzt werden kann durch eine gleich große und gleich gerichtete, im Massenmittelpunkt des Schulterarmkomplexes angreifende Kraft p_1 und durch ein Kräftepaar vom Moment $p.\lambda$, wobei λ den Abstand des Schwerpunktes von der Kraftlinie p in der Richtung der Projektionsebene bedeutet.

Der Einfluß dieser Kräfte zur Bewegung des Schulterarmkomplexes — immer unter der Voraussetzung, daß obige vereinfachende Annahmen Geltung haben — läßt sich beurteilen. Er besteht in einer bestimmten Translationsbewegung des Schulterarmkomplexes parallel der E_1-Ebene mit dem Schwerpunkt und in einer bestimmten gleichzeitigen Drehung parallel dieser Ebene um den Partialschwerpunkt. Die Bahn, welche der α-Punkt dabei in der E_1-Ebene beschreiben müßte, kann annäherungsweise bestimmt werden. Will man nachträglich die Widerstände berücksichtigen, welche sich dieser Bewegung von der Clavicula aus hindernd in den Weg stellen, so ist zu beachten, daß sich die Einwirkung des Widerstandes in der E_1-Ebene auch in einer Bewegungsänderung der Gesamtmasse des Schulterarmkomplexes und ihres Mittelpunktes geltend macht.

Wir werden uns dieser Betrachtungsweise zur Beurteilung der instantanen bewegenden Einwirkung der einzelnen am Schulterarmkomplex angreifenden, vom Stamm herkommenden Muskeln mit Vorteil bedienen können. Sie paßt allerdings zunächst nur für den Fall, daß der Stamm festgestellt, der Schulterarmkomplex frei ist. Der Arm kann dabei beliebig belastet sein.

2. Initiale Bewegungen bei aufgestütztem oder oben festgehaltenem Schulterarmkomplex.

Ist umgekehrt der Schulterarmkomplex durch äußere Widerstände mehr gehemmt als der Stamm und gilt es, eine neu hinzukommende Spannung in den Schultermuskeln oder einen neuen äußeren Impuls der den Stamm trifft, hinsichtlich des bewegenden Einflusses zu beurteilen, so müssen vor allem zwei Fälle unterschieden werden.

a) Wenn nur der eine Schulterarmkomplex unterstützt ist, so kann seine Feststellung eine vollkommene sein; trotzdem ist eine Bewegung zwischen diesem Komplex und dem Stamm möglich, wobei sich der (in sich festgestellt gedachte) Stamm parallel der E-Ebene bewegt.

b) Sind aber beide Arme durch äußere Widerstände festgehalten oder gehemmt, so ist eine Bewegung des Stammes (mit den unteren Extremitäten) nur möglich, wenn die Feststellung der beiden Schulterarmkomplexe keine vollständige ist. Am ehesten noch kann sich der Stamm kopfwärts oder kaudalwärts zwischen den Schulterblättern verschieben, ohne daß letztere eine erhebliche Umstellung erfahren. Eine Bewegung des Stammes symmetrisch zu beiden Schultern nach der ventralen oder dorsalen Seite ist dagegen nicht möglich, ohne daß die Schulterblätter deutlich mehr frontal resp. mehr sagittal gestellt werden

und nicht, ohne daß sie sich einander nähern resp. auseinandergehen. Desgleichen kann sich der Stamm zwischen den Schultern nicht mit dem Kopfende voraus) ventralwärts oder dorsalwärts drehen, was einer Aufrichtung resp. Querrichtung des Schulterblattes gegenüber dem Stamm entspricht, ohne daß eine Umstellung und Lageveränderung der Schulterblätter stattfindet. Dank diesen Umstellungen ist dann allerdings die relative Bewegung zwischen Stamm und Schulterblatt auch hier jederseits annäherungsweise eine Bewegung parallel der F-Ebene und lassen sich die jederseits wirkenden Kräfte in ähnlicher Weise analysieren wie im ersten Fall.

H. Die Wirkungsweise der Schultermuskeln.

Vorbemerkungen. Molliers Muskelphantom.

Im vorausgehenden Abschnitt sind die theoretischen Grundlagen besprochen worden, die bei der Beurteilung der Wirkungsweise der Schultermuskeln im Falle der Feststellung der Schulter und bei kleinen initialen Bewegungen in Betracht kommen. Von ebenso großem praktischen Interesse ist es aber, zu erfahren, in welchem Maße sich die verschiedenen Muskeln bei bestimmten größeren Stellungsänderungen der Schulter verkürzen und in welchem Umfang sie sich dabei arbeitsleistend beteiligen. Letzteres hängt außer von der Verkürzung und von dem Querschnitt der Muskeln auch von der Spannung ab, die verschieden groß sein und sich auch im Verlauf der Verkürzung abändern kann.

Die Schulter kann aus einer bestimmten Anfangsstellung in eine bestimmte Endstellung in verschiedener Weise übergeführt werden, je nach der Beteiligung der verschiedenen Muskeln. Solange wir nicht für jede Zwischenstellung die geometrische Konfiguration der Schulter und die Spannung der einzelnen Muskeln kennen, läßt sich die von letzteren geleistete Arbeit und ihr Stoffverbrauch nicht berechnen und beurteilen. Man kann aber die Frage aufwerfen, welche Art der Beteiligung der verschiedenen Muskeln die am meisten ökonomische ist. Ferner kann und muß versucht werden, durch genaue Beobachtung am Lebenden Anhaltspunkte über die wirkliche Beteiligung der Muskeln bei Ausführung bestimmter Bewegungen zu gewinnen. Hieran kann sich die Frage anschließen nach dem, was geschieht, wenn die in der Norm am meisten beteiligten Muskeln gelähmt sind: ob in diesem Falle die gleiche Bewegung überhaupt noch ausgeführt, die gleiche Endstellung erreicht werden kann, und welche Muskeln zu diesem Behuf zum Ersatz stärker in Anspruch genommen werden müssen.

Einige dieser Fragen sind rein geometrischer Natur und lassen sich bei Kenntnis der Konfiguration und der Ursprungs- und Ansatzverhältnisse der Muskeln leicht lösen, so die Frage der Längenänderung der Muskeln und ihrer verschiedenen Portionen bei bestimmten Stellungsänderungen der Schulter. Ferner ist klar, daß nur diejenigen Muskeln sich arbeitsleistend bei einer bestimmten Stellungs-

änderung beteiligen können, die sich dabei verkürzen. Im allgemeinen ist die günstigste Arbeitsleistung bei denjenigen Bewegungen des Schulterblattarmkomplexes gegeben, bei welchen, wenn sie in ihrem ganzen möglichen Umfang fortgesetzt werden, die Verkürzungsfähigkeit des Muskels am besten ausgenutzt wird.

Nach diesen Gesichtspunkten schließen wir gewöhnlich, mehr oder weniger instinktiv, auf die Vorzugsfunktion eines Muskels. Es ergibt sich dabei, daß ein Muskel unter Umständen günstiger wirkt, wenn er mit anderen zusammen, als wenn er allein arbeitet, weil durch die Mitbeteiligung anderer Kräfte ungünstige Bewegungen und Drehungen des Mobile verhindert werden.

Ein besonders wichtiges Hilfsmittel zur Beantwortung der Frage nach der Beteiligung der einzelnen Muskeln bei der Ausführung bestimmter Bewegungen ist, wie wir angedeutet haben, die genaue Beobachtung des Lebenden. Es eignen sich dazu namentlich gut modellierte kräftige, aber magere Körper, an denen es möglich ist, nicht bloß die Längenänderung, sondern auch den Spannungsgrad der Muskeln bei der Verkürzung und der notwendigerweise und gesetzmäßig damit verbundenen Verdickung zu prüfen.

Ferner gestatten sorgfältig untersuchte und vorsichtig gedeutete Fälle von Muskellähmungen wichtige Schlüsse insofern, als dabei bestimmte Haltungen, wie z. B. die gewöhnliche Ruhehaltung der Schulter, geändert sind, bestimmte typische Bewegungen, wie die einfache (reine) Hebung und Senkung, oder die Vor- und Rückführung der Schulter, oder die Erhebung des Armes mit und ohne Belastung bei geänderter Stellung des Schulterblattes erfolgen, oder indem zur Erzwingung bestimmter Stellungen und Stellungsänderungen im Gegensatz zu der Norm bestimmte Muskeln zum Ersatz der gelähmten Muskeln stärker angespannt werden (Duchenne, Gaupp, Mollier u. a. haben derartige Beobachtungen angestellt).

Endlich ist versucht worden, durch Faradisation der einzelnen Muskeln oder durch Experimente an künstlich hergestellten Phantomen über die Funktion der einzelnen Muskeln näheren Aufschluß zu gewinnen. Die Ergebnisse der Faradisation dürfen nur mit einiger Vorsicht zur Bestimmung der isolierten Funktion der einzelnen Muskeln verwendet werden, indem sich mit der Änderung der Stellung durch die natürliche oder künstliche Verkürzung eines Muskels zugleich die Wirkungsweise aller übrigen Muskeln hinsichtlich der Spannung und der Zugrichtung oder doch mindestens hinsichtlich der Zugrichtung von Moment zu Moment ändert, die Stellungsänderung also nicht allein bloß den Effekt der Verkürzung jenes einen Muskels darstellt. In einem gewissen Grade gilt solches wohl auch für die Befunde, welche Mollier an seinem Schultermuskelphantom erhalten hat.

Mollier löste an einer Leiche die obere Extremität mit der Schulter, dem Sternoklavikulargelenk und angrenzenden Teil der vorderen Brustwand vom Stamm ab, ersetzte den abgetrennten oberen Teil des letzteren durch ein Holzmodell und fügte in dieses Modell die abgetrennte Extremität mit dem Stück vorderer Brustwand, den natürlichen Verhältnissen entsprechend, ein. Die Muskeln der

chulter wurden durch Fäden ersetzt, welche am Ursprung durch Ösen und weiter-
n an einem Gestell über kleine Rollen liefen. Diese Fäden wurden durch Ge-
ichte, die ungefähr den Querschnitten der Muskeln proportional waren, maßvoll
ngespannt. Die Fäden waren unterwegs mit langen Hebeln verbunden, die zu-
.nmen eine Klaviatur bildeten. Durch Niederdrücken dieser Hebel konnten die
rschiedenen Fäden nach Belieben angespannt, jeder Muskel konnte nach Wunsch
urch Niederdrücken seines Hebels und Anspannung seiner Fäden „gespielt", d. h.
ine Spannungszunahme und -Verkürzung bei der Aktion konnte nachgeahmt
erden. Die erhaltenen Versuchsergebnisse, d. h. die bei Zug an einem oder an
ehreren Muskelfäden erhaltene neue Stellung und die Änderung der Ursprungs-
nd Ansatzpunkte der übrigen Muskeln wurde sorgfältig analysiert; ebenso wurde
messen, wie sich die Stellungsänderung in den beiden Junkturen, der Sterno-
avikular- und der Skapuloklavikularjunktur vollzog (Fig. 49).

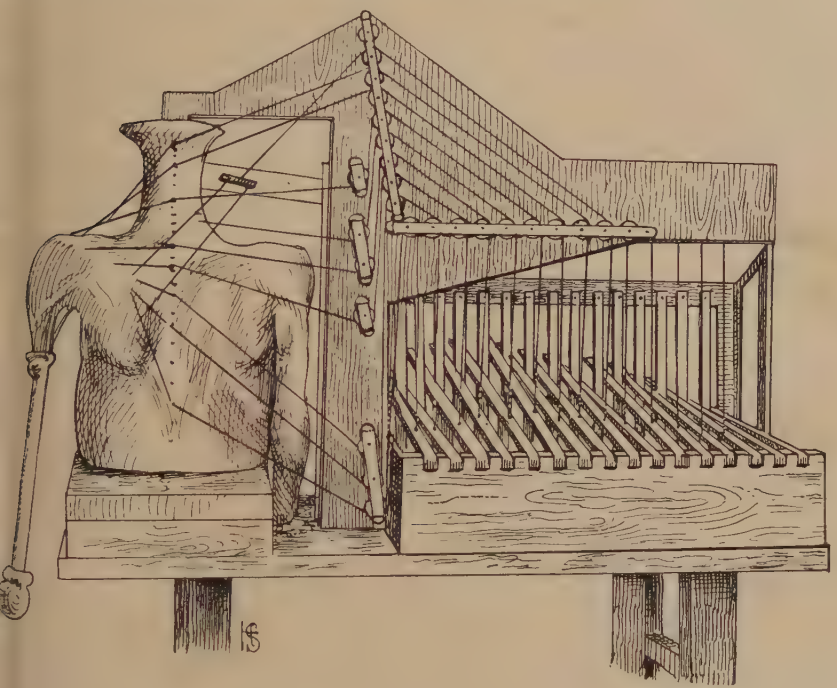


Fig. 49.

Ein solches Modell könnte, wie ich hier beiläufig bemerken will, mit Vorteil
ur Prüfung der instantanen Wirkungsweisen der verschiedenen Muskeln in den
erschiedenen Stellungen benutzt werden, wenn durch Änderung der Gewichte,
ie an den verschiedenen Muskelfäden ziehen, die Schulter in verschiedenen Stel-
ungen eingestellt würde und nun aus solchen Ausgangsstellungen heraus für irgend
inen Muskel ein Spannungszuwachs durch Anhängung eines stärkeren Gewichtes
n den repräsentierenden Muskelfaden, resp. Druck auf den betreffenden Hebel
achgeahmt würde. Es dürfte aber nur eine ganz kleine initiale Bewegung zuge-
assen und die Schulter alsbald wieder festgestellt werden. Die Richtung der übrigen
Muskelfäden dürfte bei der erfolgten Bewegung der Schulter nicht wesentlich
erändert sein. Da unter diesen Umständen die Kraftlinien der übrigen Fäden

die gleichen bleiben, so kann die kleine Bewegung als Effekt der Spannungsänderun des einen angezogenen Muskels angesehen werden.

Die so gewonnenen Resultate müßten zur Bestätigung dessen dienen, wa theoretisch, nach dem früher erläuterten analytischen Verfahren, über die in stantane bewegende Einwirkung der einzelnen Muskeln erschlossen werden kann

Mollier hat sich nun aber bei seinen Versuchen nicht mit ganz kleine Stellungsänderungen durch Anziehen bestimmter Muskelfäden begnügt, sonder beträchtliche Verschiebungen hervorgerufen, bei welchen notwendigerweise di Kraftlinien aller vertretenen Muskeln und Muskelportionen geändert werden.

Obwohl nun in den übrigen Muskelfäden die Spannung die gleiche blieb, s war doch mit der Verkürzung des einen angezogenen Muskels auch die Wirkungs weise aller anderen verändert. Das Resultat kann also nicht als der genaue Effek der alleinigen Kontraktion des betreffenden einen angezogenen Muskels, oder de zwei oder mehreren gleichzeitig angezogenen Muskelportionen angesehen werden

Man muß in theoretischer Hinsicht diesen Einwand machen Sofern aber am Mollierschen Phantom die an den Fäden hängender Gewichte klein genommen werden und nur gerade hinreichen, um die Fäden zu spannen, also gleichsam einen nur bescheidenen und gleichmäßigen Muskeltonus darstellen, fällt tatsächlich bei der Untersuchung des Effektes einer einzelnen Muskelverkürzung der störende Einfluß den die übrigen Muskeln ausüben, nicht allzusehr ins Gewicht. Der Molliersche Apparat ist unter diesen Voraussetzungen zur Veranschaulichung der Wirkungsweise der einzelnen Schultermuskeln sehr geeignet Auch läßt sich an ihm deutlich zeigen, wie der Effekt eines Muskelzuges zur Herbeiführung und Festhaltung einer neuen Stellung mehr oder weniger vollständig auch erzielt und ersetzt werden kann durch geeignete Kombination der Spannungsänderung und Zusammenziehung bestimmter anderer Muskeln. Da Mollier neben seinen Versuchen auch ausgiebig die Verhältnisse beim Lebenden berücksichtigt und verschiedene Fälle von Lähmung der Schultermuskeln genau studiert hat so enthält seine sorgfältige Arbeit viel wertvolles Material, das wir im folgenden ausgiebig benutzen.

α) Normalhaltung der Schulter.

Unter Normalhaltung der Schulter kann die bei aufrechtem geraden Stand und senkrecht herabhängender Schulter gegebene Haltung verstanden werden. Hier bilden die Längsachsen der Schlüsselbein mit der Medianebene einen nach hinten offenen Winkel von 67° (Mollier). Außen hängt an der Clavicula das Gewicht der Schulter und des Armes im Betrag von 4—5 kg. Mollier schließt aus seinen Versuchen an der Leiche, daß diese Last nur durch die Ligg. coracoclavicularia getragen, das Schlüsselbein aber allein durch den Widerstand des Sternoklavikulargelenkes gehalten wird. Schneidet man die klavikularen Ursprünge des Deltoides und Pectoralis major durch, so ändert sich nichts in der Lage des Schulterblattes und Schlüsselbeins, ebensowenig bei Durchschneidung der Kapsel des Akromioklavikulargelenkes. Letzteres ist also völlig entlastet. Etwas weniges hilft die Gefäßnervenplatte der Achselhöhle Arm und Schulterblatt tragen. Im wesentlichen aber sei der Schulterarmkomplex an den Ligg. coracoclavicularia aufgehängt

Durchschneidet man die letzteren, so geht das Schlüsselbeinende deutlich nach oben und hinten, ein Zeichen, daß die Bänder des Sternoklavikulargelenkes zuvor gedehnt waren. Der M. trapezius konnte bei Olliers Versuchen nicht in Frage kommen, da er zuvor durchschnitten war. Die Schulter stand trotzdem nicht tiefer als bei undurchschnittenem Muskel.

Stärkere Belastung des Armes vor der Durchschneidung der Ligg. coracoclavicularia führte binnen Stunden zur Nachdehnung der Bänder am Sternoklavikulargelenk, so daß das Ende des Schlüsselbeins nach vorn unten rückte. Durchschnitt man jetzt diese Bänder, so ging das äußere Ende nicht so weit zurück wie im ersten Falle. Daß auch beim Lebenden ähnliche Verhältnisse vorliegen, schließt Mollier aus der Übereinstimmung der Stellung des Schlüsselbeins beim Lebenden mit derjenigen an der aufrechtgestellten Leiche bei Beginn des Versuches.

Über den letzteren Punkt ist nun meiner Meinung nach leicht Täuschung möglich. Meinen Beobachtungen zufolge befindet sich im Gegenteil die Clavicula beim Lebenden in der Normalhaltung der Schulter nicht in ihrer tiefsten Lage, ist vielmehr so gestellt, daß sie deutlich mit der Schulter noch etwas nach unten verschoben werden kann. Ohne bestreiten zu wollen, daß Arm und Schulterblatt ohne Mitwirkung der Schultermuskeln einfach durch die Widerstände in den Gelenken getragen werden können, und daß es erst im Verlaufe längerer Zeit bei Belastung des Armes rascher und in erheblicherem Maße) zur schädlichen Nachdehnung im Sternoklavikulargelenk kommt, muß ich doch annehmen, daß die Last des Schulterblattes und des Armes beim Lebenden teilweise durch die am Schultergürtel angesetzten, vom Stamm kommenden Muskeln getragen wird. Bei stärkerer Belastung nimmt auch Mollier eine Mitwirkung der Muskeln an, durch welche dann wesentlich verhindert werde, daß der erste Rippenknorpel nach unten herausgesprengt wird.

Mit der Meinung, daß die normale Schulterhaltung eine aktive ist, sehen wir uns in Übereinstimmung mit R. Fick, der mit Recht hervorhebt, wie je nach dem Tonus der Muskeln die „Ruhelage" der Schulter eine verschiedene ist. Bei Frauen mit stark entwickelten Brüsten hat Mollier eine etwas höhere Lage der Schulterhöhe beobachtet.

Bei kräftigen Personen ist das Schulterblatt mehr zurückgenommen, mehr frontal und auch etwas höher gestellt, bei schwächlichen Individuen mehr nach vorn und abwärts gerutscht, stärker quergerichtet und mehr sagittal umgestellt, so daß die Basis etwas von der Brustwand absteht. Der Hals erscheint dadurch länger. Bei mittlerer Schulterhaltung liegt die Mitte des oberen Randes etwa an der zweiten Rippe, die Spitze an der 7.—8. Rippe, wie allgemein angegeben wird.

Bei stärkerer Belastung des Armes am lebenden Modell fand Mollier eine Anspannung des oberen Trapezius (akromiale und klavikulare Portion) und des unteren Serratus, aber auch bei stärkster Belastung keine Anspannung des Levator scapulae und Rhomboideus.

In der Fig. 50, welche diesen Befund illustrieren soll, müßte der abwärts gerichtete Pfeil, welcher den Einfluß der Belastung darstellt, weiter nach links gezeichnet sein. Man erkennt, daß diesem Einfluß durch die beiden anderen Kräfte nicht Gleichgewicht gehalten wird.

Doch müssen wir nach unseren Befunden am lebenden Modell entgegen Mollier annehmen, daß bei starker Belastung des Armes der M. levator scapulae sicher stärker gespannt ist. Es ist ja auch theoretisch klar, daß eine dem Gewicht des Armschulterkomplexes entsprechende aufwärts ziehende Kraft vorhanden sein muß. Dieselbe könnte allenfalls durch den Widerstand im Sternoklavikulargelenk geliefert sein. Soll dasselbe aber geschont werden, so müssen doch wohl der Levator scapulae und die Rhomboidei dafür in die Schranken treten. Der obere Trapezius entfaltet eine mehr nach innen und hinten als nach oben gerichtete Zugeinwirkung, da ja nur die Richtung des Endteiles der Fasern in Betracht kommt. Seine Hauptwirkung zum Halten der Schulter besteht darin, daß er zusammen mit dem Serratus der Querrichtung, welche durch die Heber der Basis und die Schwere zustande kommen müßte, durch Aufrichtungsdrehung entgegenwirkt.

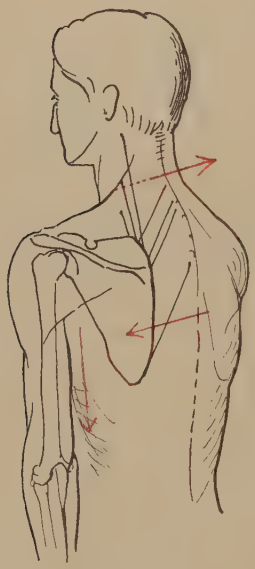


Fig. 50.

Der Schwerpunkt des Schulterarmkomplexes befindet sich beim herabhängenden Arm zwischen Schulterblatt und Oberarm unter der Achselhöhle, bei vorgestrecktem und mit Gewicht belastetem Arm (Fig. 51) weiter nach der Hand zu. Die durch diesen Punkt gehende resultierende Einwirkung der Schwere an jenem Komplex sei = G. Die Spannung der Hebemuskeln des Angulus scapulae sei mit S bezeichnet.

Die beiden vertikalen Kräfte, die Schwere G und die betreffende Muskelspannung S, haben nun nicht die gleiche Kraftlinie, sondern bilden ein Kräftepaar, welches im Sinne der Querstellung dreht. Gleichgewicht kann nur bestehen, wenn außerdem ein gleich großes Kräftepaar umgekehrt drehend auf den Schulterarmkomplex wirkt.

Ein solches ist gegeben in der Spannung des M. serratus anterior (untere Teile) einerseits, des Trapezius (oberer Teil desselben) andererseits. Der Serratus anterior liegt mit den maßgebenden Zugrichtungen seiner verschiedenen Abschnitte annähernd in der Tangentenebene und wirkt in derselben nach vorn (eigentlich vorn außen) und unten. Je nachdem mehr der obere oder mehr der untere Teil gespannt ist, liegt der Angriffspunkt der mittleren Zugrichtung etwas höher oder tiefer an der Scapula und geht die Richtung des Zuges mehr horizontal oder mehr nach unten zu.

Bei dem Trapezius, der nicht überall in der Tangentenebene liegt, kann man sich zur Ermittlung der Komponenten in dieser Ebene des Projektionsverfahrens bedienen. Man erkennt, daß namentlich seine oberen Teile angespannt sein müssen, damit in der Tangentenebene eine Kraft gegeben ist, welche dem Serratuszug entgegengesetzt

rkt. Die Anspannung namentlich der oberen Teile des Trapezius und r unteren des Serratus ist geeignet, die drehende Einwirkung der hwere und der die Basis scapulae oben haltenden Muskeln aufzuheben.

Verschiebt sich der Schwerpunkt (durch Axillarflexion oder Extension im hultergelenk) parallel der Tangentenebene und wird dabei das Moment des querhtenden Kräftepaares größer oder kleiner, so muß sich in entsprechender Weise Spannung zugleich im Trapezius und im Serratus vergrößern oder verkleinern, nn das Gleichgewicht erhalten bleiben soll. Rückt der Schwerpunkt aus der ngentenebene heraus ventralwärts, so kommt ein Kräftepaar hinzu, welches rallel der Schwerlinie, senkrecht zur Tangentenebene im Sinn der Überdrehung h der Ventralseite wirkt. Ihm kann Gleichgewicht gehalten werden durch Verhrung des Druckwiderstandes an den oberen Unterstützungspunkten der Schul-

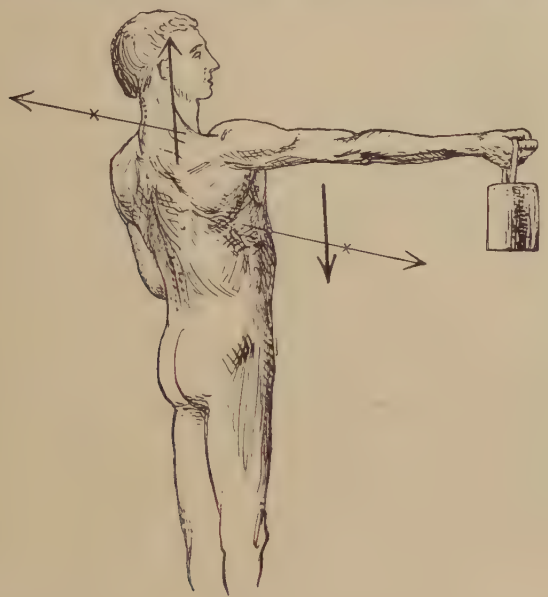


Fig. 51.

brücke und durch Vergrößerung der Widerstände (Muskel, Faszienhalfter, erdruck der äußeren Luft), welche die Spitze des Schulterblattes am Thorax lten. Analog, nur umgekehrt, ist die Nebenwirkung, wenn der Schwerpunkt aus der ngentenebene dorsalwärts heraustritt. Steht die Schwerlinie schräg zur Tantenebene, so ergibt sich eine Komponente der Schwere senkrecht zu dieser ene, welche sich auf die Unterstützungspunkte der Schulterbrücke verteilt d unter Umständen ein Kräftepaar zur Umrollung der Brücke nach oben oder ten. Dem letzteren wird durch vermehrten Druckwiderstand an den Enden r Brücke und Abhebungswiderstand (Muskeln, Luftdruck) am Angulus scapulae eichgewicht gehalten usw.

Ist endlich bei sonst gleichen Verhältnissen die Lage und Aufrichtungsllung des Schulterblattes eine andere, so ist damit natürlich die Zugrichtung der uskeln verändert und muß sich die Spannung etwas anders auf die verschiedenen uskeln und Muskelportionen verteilen. Noch viel mehr ändern sich die Verhältse, wenn der Körperstamm aus der aufrechten Stellung in eine geneigte, oder ar in eine horizontale Stellung übergeht. Doch würde es zu weit führen, auf e Einzelfälle einzutreten.

β) Parallelbewegungen der Schulter.

1. Reine Schulterhebung.

Bewegungen der Schulter allein, ohne intendierte Drehbewegunge
des Armes im Schultergelenk vollziehen sich unter recht verschiedene
Umständen. Durch sie paßt sich beim Liegen die Schulter der Unter
lage und dem Haupt an. Hals und Kopf können durch Verschiebun
der Schulter gegen äußere Angriffe geschützt werden; solches kan
auch bloß symbolisch resp
ostentativ zur Geltung kom
men. Wollen wir einen ent
fernten Gegenstand mit aus
gestrecktem Arm besser er
reichen, so wird die Schulte
nachgeschoben. Dient der Arm
als Stütze oder hängt der Kör
per an den Armen, so kann
der Stamm zwischen ihnen in
der einen oder anderen Richtung
hochgehoben sein oder tiefe
einsinken usw.

Fig. 52.

Bei der **reinen Schul
terhebung**, wie wir sie z. B
beim „Achselzucken" ausfüh
ren, verkürzen sich und wirke
mit: Die Rhomboidei und
der Levator scapulae, so
wie die supraspinale, akro
miale und klavikulare
Portion des Trapezius
Der M. pectoralis majo
kann selbstverständlicherweis
zur Hebung direkt nicht bei
tragen; er ist nur mit de
anderen Adduktoren (Ventral
bewegern und Axillarflexoren
für den Anschluß des Arme
an den Leib beteiligt. Dagege
verkürzt sich der Omohyo
ideus. Seine Arbeitsleistung für die Hebung selbst ist zwar gan
unbedeutend, dagegen ist seine Kontraktion und Spannung von Nutze
für die Emporhebung des Grundes der Fossa supraclavicularis un
die Offenhaltung der Venen. Es wird der Muskel hierin durch da
Platysma unterstützt.

Ob die klavikulare Portion des Sternocleidomastoideu
tatsächlich für die Hebung der Clavicula Nennenswertes beträgt
läßt sich füglich bestreiten. Nach Merkel bleibt sie schlaff.

Die gleichen Muskeln, welche in der angedeuteten Weise die Hebung er Schulter bewirken, spannen sich natürlich stärker an, wenn die ufwärtsbewegung entgegen einem stärkeren Widerstande geschieht und nn die Schulter oder der herabhängende Arm stark belastet sind. amentlich muß im letzteren Fall der äußere Teil des Trapezius be- nders kräftig wirksam sein. Aber auch der Serratus muß mit zu- ehmender Belastung bei sonst gleichen Verhältnissen einen Zuwachs n Spannung erfahren, wie aus unseren Erörterungen auf S. 120 her- orgeht.

Die Rhomboidei bleiben nach Duchenne bei gewöhnlicher reiner Schulter- bung schlaff und werden erst bei stärkerem Widerstand gespannt. Erb konnte i Atrophie des Trapezius keine Anspannung der Rhomboidei konstatieren (zitiert ch R. Fick). Beiden Beobachtungen möchten wir einen gewissen Zweifel ent- gensetzen. Die oberen Partien des großen Brustmuskels sollen nach R. Fick r Schulterhebung beitragen. Solches ist nur denkbar bei energischer Bewegung s Armes im Schultergelenk, wobei die Clavicula wie ein Ruder auf das Brustbein edergedrückt wird und die Schulter nach oben ausweicht (vgl. S. 76).

2. Senkung der Schulter.

Folgende Muskeln kommen für die **Herabbewegung der Schulter** ler für die Emporbewegung des Stammes zwischen den Schultern und e Festhaltung des Stammes zwischen den vertikal von den Armen stützten Schultern in Betracht:

Der M. subclavius und namentlich der Pectoralis major, rner der untere Teil des Serratus ant. und unter Umständen bei ark gehobenem Arm auch seine oberen Abschnitte; endlich die untere, steigende Portion des Trapezius. Durch Vermittlung des Armes irken aber im gleichen Sinn auch der untere Teil des Pectoralis major nd der Latissimus dorsi.

3. Vorbewegung der Schulter.

Muskeln der Vorbewegung des Schulterblattes sind vor allem der . serratus anterior in seinem ganzen Umfang und der Pectoralis inor. Auch der Sternokostalteil des Pectoralis major unter- tützt durch Vermittlung des Armes die Vorführung. Ferner hat der evator scapulae eine vorziehende Komponente. Die gleichen uskeln halten den durch äußere Kräfte (z. B. die Schwere) zwischen en gestützten Schultern ventralwärts drängenden Stamm zurück oder ewegen ihn sogar, diesen Kräften entgegen, zwischen den Schultern orsalwärts.

Die Umstellung der Tangentialebene nach vorn zur besseren sagit- len Einstellung findet teils mit dem Schlüsselbein unter Vorführung esselben, teils gegenüber demselben statt. Der Pectoralis minor und ie Sternokostalportion des Pectoralis major sind in beiden Fällen be- eiligt; die Klavikularportion des Pectoralis major und diejenige des eltoides können nur mithelfen zur Umstellung gegenüber der Clavi- ula. Die Muskeln der Vorderwand der Achselhöhle (ohne Sub- avius und Omohyoideus) sind es also, welche diese Umstellung vor

allem bewirken oder zugleich mit ihr bei nicht im Schultergelenk ver steiftem, gehobenen Arm Ventralbewegung, resp. Einwärtsrollung bein abwärtsgestellten Arm verursachen.

Der Serratus anterior ist ein mächtiger Muskel zur Vorführung des Schulterblattes mit der Clavicula. Er vermag aber, da sein vorderer um den Bruststamm herumgebogener Teil für die Richtung der Zug einwirkung auf das Schulterblatt nicht in Betracht kommt, eine Ein wärtsdrehung der Tangentenebene gegenüber der Clavicula nicht zu bewirken, solange die Basis scapulae in der Berührungsstelle oder unter oder hinter derselben liegt. Nur soweit ihr unterer Teil über dieselbe nach vorn und von der Brustwand abrückt, gewinnt der Muskel einen derartigen Einfluß.

4. Rückführung der Schulter.

Muskeln für die **Rückführung der Schulter** sind: die Rhomboidei, der Trapezius, insbesondere dessen infra- und supraspinaler Teil, ferner der Latissimus dorsi (durch Vermittlung des Armes). Endlich kommt dem M. subclavius und der klavikularen Portion des Sternocleidomastoideus ein Moment zur Rückführung der Clavicula zu. Um der Schwere Gleichgewicht zu halten, ist ein Übergewicht in der Spannung der Schulterheber gegenüber den Herabziehern notwendig.

γ) Kombinierte Bewegungen von Schulter und Arm.

1. Seitliche Hebung des Armes.

Unter Hinweis auf das früher Auseinandergesetzte muß betont werden, daß die seitliche Hebung des Armes naturgemäß mit dorsaler Lage und Frontalstellung des Schulterblattes verknüpft ist. Diese Lage, ohne Auf- oder Querrichtung des Schulterblattes, wohl aber mit geringer Hebung und natürlich mit starker Annäherung der Basis scapulae an die Wirbeldornen verbunden, erfordert eine starke Verkürzung und Anspannung der unteren und mittleren Trapeziusfasern (aller Graeteneckfasern, sowie der inneren Partie der an der Spina angehefteten Fasern) und der Rhomboidei. Der Latissimus könnte zur Rückführung der Schulter und zur frontalen Umstellung und Medianwärtsbewegung des Schulterblattes wohl mitwirken, seinem querrichtenden Einfluß aber müßte durch Anspannung in höheren Teilen des Trapezius Gleichgewicht gehalten sein. Zur seitlichen Hebung aber muß dieser Muskel den Arm freigeben. Für die Aufrichtung des Schulterblattes zur Unterstützung der Armhebung stehen nun speziell (von hohen Extremlagen der Schulter abgesehen) die obersten Teile des Trapezius, steht aber auch sein unterster, steil zur Spina aufsteigender Teil zur Disposition, ferner für den Anfang der Aufrichtung die Anspannung und Verkürzung des unteren Serratus. — Sobald aber die Spitze des Schulterblattes

er die Seite des Brustkorbes hinten heraustritt, kann eine weitere rkürzung dieser Muskelportion nicht mehr in Betracht kommen. Sie ißte sagittal umstellend wirken, was für die rein seitliche Hebung zweifelhaftem Nutzen wäre und tatsächlich nicht stattfindet. Die sis scapulae bleibt oben den Wirbeldornen genähert. Für die Auf-htung in frontaler Ebene wird also (bei frontaler Stellung des Schulter-ttes) der Einfluß des Serratus um so geringer, je mehr die Spitze Schulterblattes seitlich heraustritt. Dazu kommt die Behinderung seitlichen Heraustretens der Schulterblattspitze durch die passive spannung der über sie herübergehenden Latissimusfasern und des Mollier beschriebenen Faszienstreifens. Das alles ist nament-der seitlichen Bewegung des Schulterblattes zusammen mit der vicula im Sternoklavikulargelenk hinderlich. Dabei ist zu beachten, alle Muskeln, welche zur Aufrichtung dienen können, mit Aus-nme der vordersten obersten Teile des Trapezius unsern Schulter-nkomplex im ganzen nach unten ziehen und die Hebung der Clavi-a im Sternoklavikulargelenk verhindern. Was aber die Aufrichtungs-hung des Schulterblattes gegenüber der Clavicula im Akromialgelenk rifft, so kommt für die Beschränkung derselben neben der Insuffi-nz des Serratus und der passiven Hemmung an der Spitze des Schulter-ttes ganz besonders noch die Anspannung der Ligg. coracoclavicu-ia in Betracht, die bei relativ tiefstehender Schulter und verkleinertem tklavikularem Schultergürtelwinkel früher eintritt und die Aufrich-gsdrehung des Schulterblattes früher hemmt, als bei hochstehendem romion. Eine Längsdrehung der Clavicula nach oben ist in den fen Lagen nicht möglich. Bei seitlicher Hebung bloß des einen Armes gt sich der Oberkörper nach der anderen Seite und es kann infolge von der Arm höher gehoben werden. Bei beidseitiger symmetrischer bung ist diese Mitwirkung des Rumpfes ausgeschlossen. An der bung beteiligt sich das Schulterblatt durch Aufrichtung höchstens t $15-20^0$. Die maximale Hebung des Armes im Schultergelenk trägt, wenn sie in der Ebene des Schulterblattes erfolgt, 112^0 oder nig mehr. Nun aber wird bei rein seitlicher Hebung des Armes die uptebene des Schulterblattes nicht ganz bis zur Frontalstellung rückgeführt, vielmehr geschieht die Einstellung des Armes in die ontalebene teilweise im Schultergelenk durch Dorsalablenkung; die nteren Teile des Deltoides und wohl auch die obere Partie des fraspinatus sind dabei in besonderem Maße beteiligt. Bei dorsal-rts abgelenktem Oberarm kann demnach die Hebung im Schulter-lenk nicht völlig den obengenannten maximalen Betrag erreichen.

2. Hebung des Armes nach vorn.

Die Erhebung des Armes nach vorn kann viel weiter gehen, als seitliche Erhebung. Sie wird durch die Aufrichtung des Schulter-ttes in erheblichem Maße unterstützt, wenn das Schulterblatt in e möglichst sagittale Stellung übergeführt ist. Dazu ist bei tief-hender Schulter eine Vorführung derselben notwendig. Die sagittale

Umstellung ist dabei größer, wenn sich zugleich mit der Bewegun im inneren Schlüsselbeingelenk eine Vergrößerung des postklavikulare Schultergürtelwinkels im Akromialgelenk verbindet. Die Vorführun und sagittale Umstellung des Schulterblattes hat nun aber nicht blo den Nutzen, daß die Aufrichtungsebene eine günstigere Richtung e langt. Von besonderer Bedeutung ist, daß infolge derselben die Au richtung des Schulterblattes selbst in größerem Umfang stattfinde kann. Erstens erfolgt in der Scapuloklavikularverbindung die Drehun mehr quer zur Clavicula, die Ligg. coracoclavicularia werden erst späte angespannt, und wenn zuletzt hierdurch und durch das Anstoßen de Processus coracoides an die Clavicula Schulterblatt und Arm verstemm werden, so kann die Aufrichtungsdrehung im Sternoklavikulargelen weitergehen, indem sich die Clavicula um ihre Längsachse dreht. Solche ist allerdings in erheblichem Grade nur möglich, wenn die Clavicul aus unterer Extremlage emporgehoben ist. Zweitens hebt sich bei de Aufrichtung die Spitze des sagittal umgestellten Schulterblattes nich so weit vom Thorax ab, wie bei dem frontalgestellten Schulterblatt un jene äußeren Hemmungen durch den Latissimus dorsi und die Faszi fallen weg oder kommen erst viel später zur Geltung. Drittens sin die Verhältnisse für die Muskelwirkung sehr viel günstiger. Die Rhom boidei können erschlafft sein, womit ein wichtiges Hindernis für di Aufrichtung eliminiert ist. Der Schulterarmkomplex wird immer noc durch den Levator scapulae und durch die stärker angespannten oberen Teile des Trapezius getragen. Vor allem aber kann sich der unter Teil des Serratus noch weiter verkürzen, wenn die Spitze des Schulter blattes an der Seite des Thorax nach vorn geht, und kann diese Vor bewegung aktiv herbeiführen.

Ist aber einmal das Schulterblatt sagittal umgestellt und an de Seite des Thorax vorgeführt, so kann ohne erhebliche Verminderun der Sagittalstellung die Schulter gehoben und oben rückwärts geführ werden, wodurch die Aufrichtung der Scapula noch weiter vermehr wird. Hierbei spielt die oben erwähnte Längsrotation der Clavicul eine Rolle.

Die Rückführung der Schulter geschieht durch aktive Verkürzun der oberen und mittleren Teile des Trapezius. Die Aktion des Trapeziu greift, wie ersichtlich, mit Vorteil erst ein, wenn der Arm bereits übe die Horizontale nach vorn gehoben ist.

Der supraspinale, an der Spina angesetzte Teil des Muskels ha wohl in bezug auf die Drehung der Scapula im Akromialgelenk ei querrichtendes, nicht ein aufrichtendes statisches Moment. Dies komm aber erst bei den obersten Extremlagen der Clavicula in Betracht. S lange das äußere Ende der Clavicula noch nach hinten und oben gehe kann, geht die Achse der Drehung durch den Massenmittelpunkt de Schulterblattarmkomplexes und können auch die akromialen Faser des Trapezius zur Aufrichtungsdrehung des Schulterblattes beitrage Das Akromialende der Clavicula ist eben nicht festgestellt, sondern wi vom Akromion mitgenommen. In diesem Sinn müssen wir also Du chenne gegenüber Mollier u. a. in Schutz nehmen. Die akromiale

d sogar ein Teil der spinalen Fasern des Trapezius können direkt r Aufrichtungsdrehung beitragen. Duchenne hat freilich geirrt, indem eine Drehungsachse annahm, welche durch den Angulus scapulae t (neben einer zweiten, mitunter in Betracht kommenden Achse, lche in der Nähe des Akromion das Schulterblatt trifft).

Sobald man davon absieht, die Bewegungen des Schulterblattes in die Bengungen gegenüber der Clavicula im Akromialgelenk und diejenigen mit der Clavia im Sternalgelenk zu zerlegen, und den Schulterarmkomplex als eine parallel Tangentenebene annähernd frei bewegliche Masse betrachtet, geht eben die hungsachse durch den jeweiligen Massenmittelpunkt dieses Komplexes. Die n erwähnte, von Mollier u. a. in den Vordergrund gestellte Zerlegung der Begung ist nützlich und notwendig, wo es sich um Beurteilung der Veränderungen den Junkturen handelt. Auch für statische Verhältnisse ist sie völlig ausreichend. r die dynamischen Aufgaben aber ist die auf eine solche Zerlegung basierte alyse außerordentlich schwierig durchzuführen. (Eine Vernachlässigung der rhältnisse der Massenverteilung und der durch die freien Achsen von Glied zu ied wirkenden Kraft führt hier notwendigerweise zu unrichtigen Schlüssen.)

Nach Gaupp geschieht die Rückführung des Akromion nach oben und hinten der hohen Vorhebung des Armes rein passiv, ohne Mitwirkung des Trapezius, lem der Processus coracoides bei der (durch den Serratus bewirkten) Aufrichtung s Schulterblattes an die Clavicula anstoße, sich mit ihr versteife und sie nach en und hinten dränge. Er nimmt dabei ebenfalls den Angulus als Drehpunkt an. ollier macht demgegenüber geltend, daß die Rückführung der Schulterhöhe i Trapeziuslähmung unterbleibt, und daß normal der obere Trapezius bei der hen Vorhebung des Armes tatsächlich verkürzt (soll wohl heißen aktiv kontrahiert) rde. Endlich müsse ja der bloße Zug des Serratus die Schulterhöhe nach rn ziehen.

Die Rückführung der Schulterhöhe durch den Trapezius soll nach Mollier r die Bedeutung haben, dem Serratus die volle Wirksamkeit zu ermöglichen. emgegenüber ist einzuwenden, daß bei Beginn der Rückbewegung der Schulterhe der Serratus seine maximale Verkürzung bereits erlangt hat und daß nunmehr e Spitze des Schulterblattes nicht wesentlich weiter vorrückt.

Nach Gaupp beeinträchtigt die Rückführung des Akromion an nd für sich die Unterstützung der Armhebung durch Schulterblattufrichtung, indem die „Schwingungsebene" des Schulterblattes dadurch ehr nach vorn außen gestellt werde. Eine Korrektur müsse erfolgen urch neue sagittale Umstellung des Schulterblattes im Akromialgelenk nd durch Ventralablenkung des Armes im Schultergelenk (Pectoralis ajor und vordere Portion des Deltoides). Demgegenüber muß bent werden, daß bei hoher Stellung des Akromion trotz der Rückührung desselben die aufgerichtete Scapula ihre sagittale Orientierung eibehalten kann, indem durch die Hebung der Clavicula die Ligg. oracoclavicularia erschlaffen.

3. Rückführung des gesenkten Armes.

Sie ist mit gleichzeitiger Querstellung des Schulterblattes verunden. Zur stärkeren Querrichtung des Schulterblattes können folende Muskeln beitragen: Vor allem die Rhomboidei und der Levator capulae hinten, der Pectoralis minor vorn. Außerdem kommen, wenn chulterblatt und Arm versteift sind, in Betracht der Latissimus dorsi nd der unterste Teil des Pectoralis major. Letzterer wirkt auf das chulterblatt (Sternoklavikulargelenk) nicht rückführend, sondern vor-

führend; bei rückgeführter Schulter gilt dies auch für den Levator sc pulae. Indem jedoch der Latissimus das Ende der Clavicula bei g gebener Exkursionsmöglichkeit unten hält oder nach unten zieht, verma er doch wohl zur Querstellung mitzuwirken. In dieser Wirkungsweis schließt sich ihm der Pectoralis minor an, dessen Wirkung am äußere Schlüsselbeingelenk nur gering ist. Dies wird besonders klar, wen man den Schulterarmkomplex als mehr oder weniger parallel de Tangentenebene translatorisch verschiebbar und drehbar annimmt un sich das Ende der Clavicula dabei mitgenommen denkt. Bei extreme Querrichtung des Schulterblattes ist in der Tat die Clavicula zwa möglichst zurückgeführt, aber auch möglichst nach unten gegen die erst Rippe gezogen, der Angulus scapulae ist gehoben. Für die extrem Rückführung und die damit verbundene Auswärtsdrehung zur besseren Frontalstellung ist namentlich die Mitwirkung des Latissimus dorsi be deutungsvoll.

4. Zusammenfassung.

Nach Mollier bilden die Rumpfgürtelmuskeln vier Paare vo Antagonisten. Jedes Paar stellt gleichsam eine Muskelschleife da in welche der Schultergürtel eingeschaltet ist.

I. Paar: Oberer Trapezius + Pectoralis minor,
II. Paar: Mittlerer Trapezius + oberer und mittlerer Serratus, bewegt wesentlich im sternalen Gelenk,
III. Paar: Rhomboidei + unterer Serratus, bewegen wesentlich im akromialen Gelenk,
IV. Paar: Levator scapulae + unterer Trapezius, wirkt auf beid Gelenke.

Die Muskelschleife III vermittelt das Vor- und Rückschwinge der Scapula im akromialen Gelenk (um eine sich umstellende Achse) wobei die Spitze des Schulterblattes der Thoraxoberfläche entlan gleitet. Die Drehung des Schulterblattes teilt sich dem damit versteifte Arm mit und unterstützt Bewegungen im Schultergelenk, die in de gleichen Richtungen beabsichtigt sind. Für Bewegungen des Arme in anderen Ebenen ist eine Umstellung der Schwingungsebene in di neue Richtung von Vorteil. Diese Umstellung wird durch die dre anderen Msukelschlingen bewirkt, indem sie das akromiale Gelenk nac vorn und hinten resp. oben und unten bewegen.

Das Bestreben, die Beziehungen zwischen der Aktion der Rumpf Schultergürtelmuskeln und den Umstellungen des Schulterblattes un den Bewegungen des Armes in möglichst einfacher und anschauliche Weise zu formulieren, ist sehr zu begrüßen. Wir möchten aber folgen der Betrachtungsweise den Vorzug geben:

1. Durch die Umstellungen des Schulterblattes werden die Be wegungen des Arms, dessen Exkursionsmöglichkeit gegenüber der Sca pula durch das Schultergelenk bestimmt ist, dem Stamm gegenübe in andere Lagebeziehungen gebracht. Die Umstellung des Schulte blattes erfolgt gewohnheitsgemäß, teilweise auch durch Nebenwirkun

r vom Stamm zum Arm gehenden und diesen im Schultergelenk wegenden Muskeln selbst in euergetischem Sinne, so wie es zur sseren Ausführung der Lageveränderung des Arms gegenüber dem amm resp. gegenüber der Außenwelt dienlich ist.

2. Das Maßgebende dabei ist die Umstellung der Schulterlenkpfanne. Sehen wir von der Umstellung des Thorax, welche n dem gleichen Gesetz beherrscht ist, ab, und beschränken wir uns f die Untersuchung des Schulterblattes gegenüber dem Thorax, so mmt in Betracht:

a) die Drehung der Pfanne (ihrer Normalen) nach oben und unten,
b) ihre Drehung nach innen oder außen und
c) ihre Drehung um die Normale oben herum nach innen oder außen.

3. Die Drehung a) entspricht der Aufrichtung oder Querrichtung s Schulterblattes in der Tangentenebene. Es kommen hierbei die rallel der Tangentenebene wirkenden Kraftkomponenten in Betracht. bei ist ziemlich gleichgültig für das Endresultat, um welche zur ngentenebene senkrecht stehende Achse die Drehung erfolgt und lche kleine Modifikationen die Lage und Richtung der Tangentenene durch die Clavicula erfährt. In mittleren Stellungen der Clavila wird ihr äußeres Ende fast ohne Hindernis mitgenommen; die Drengsachse entspricht dann dem Massenmittelpunkt des Schulterblattmkomplexes und kann irgendwo durch das Schulterblatt resp. die hselbeuge gehen: in den Extremstellungen der Clavicula geht die ehungsachse durch den Akromialpunkt. Für die mittleren Stellungen mmen für die Aufrichtungsdrehung wesentlich in Betracht: der tere Serratus, der akromiale Teil des Trapezius und die untere aufigende Randportion des Trapezius, für die Querrichtung der Levator apulae, der Pectoralis minor (und der Latissimus dorsi). Je nach r Beteiligung dieser Muskeln kann sich auch eine translatorische Einirkung auf den Schulterblattarmkomplex ergeben. In oberen Extremgen der Clavicula fällt die Einwirkung der Akromial- und Klavikularortion des Trapezius für die Aufrichtung dahin.

4. Die Drehung b) der Pfanne (ihrer Normalen) nach innen oder ßen wird bewirkt durch sagittale resp. frontale Umstellung des Schulterattes. Erstere kommt zustande bei Vorführung, letztere bei Rückhrung der Schulter. Bei hochgestellter Schulter ist eine erhebliche mstellung genannter Art auch ohne erhebliche Vor- oder Rückführung s Akromion möglich.

Zur Vorführung tragen bei der Levator scapulae, der ganze Serratus, r Omohyoideus, der Pectoralis minor und durch Vermittlung des rmes die Sternokostalportion des Pectoralis major, zur Rückführung e Rhomboidei, der ganze Trapezius und durch Vermittlung des Armes r Latissimus dorsi. Letztere Muskeln hindern natürlich die Vorhrung. Es ist aber zu beachten, daß bei Hochstellung der Schulter e sagittale Umstellung der Scapula erhalten bleiben kann, auch wenn s Akromion durch die Kontraktion des oberen Trapezius rückgeführt . Diese Rückführung vermehrt die Aufrichtung des Schulterblattes.

Aber auch schon ohne das kann die Aufrichtung bei sagittal umgestelltem Schulterblatt und ganz vorgeführter Schulter weiter gehen als bei frontalgestelltem (hinten am Thorax befindlichen) Schulterblatt.

5. Eine Drehung der Pfanne um ihre Normale ist im allgemeinen nur in beschränktem Umfang möglich. Doch bemerkt man bei horizontal in der Ebene des Schulterblattes gehobenem Oberarm, daß bei Einwärtsrotation des Oberarms die Spitze des Schulterblattes sich vom Thorax etwas abhebt, bei Auswärtsrotation an ihn dichter angepreßt wird. Es sind wohl die vom Stamm (und der Clavicula) zum Arm gehenden Muskeln, welche hierbei durch Vermittlung des Humerus und von Muskeln, die ihn mit dem Schulterblatt versteifen, das letztere mitnehmen. Der Druckmittelpunkt an der Berührungsstelle der Thoraxwand mit dem Schulterblatt und seinem inneren Muskelpolster wird dabei mehr nach oben oder mehr nach unten verlegt.

δ) Aktionen an Arm und Schulter bei distaler Feststellung des Armes. Armstütze. Hang.

Wir müssen zum Schluß noch auf jene Fälle eintreten, bei denen sich die Arme oder Schultern direkt gegen eine mehr oder weniger gut festgestellte äußere Stützfläche stemmen, oder bei denen Hand und Arm sich an einem äußeren Halt festklammern, während am Schultergelenk und Schultergürtel Muskelaktion stattfindet. Wir gehen bei der Untersuchung dieser Fälle wieder am besten aus vom Zustand des Gleichgewichtes der an jeder Partialmasse angreifenden äußeren und inneren Kräfte des Systems. (Bezüglich der Behandlung solcher statischer Aufgaben sei auf den Allg. Teil dieses Lehrbuches I. S. 144 ff. verwiesen.)

Im Prinzip übereinstimmend wie bei der normalen Haltung der Schultern im aufrechten Stand und beim Tragen eines Gewichtes auf den Schultern oder an den herabhängenden Armen liegen die Verhältnisse, wenn der Rumpf emporgehoben wird, und sich die Hände unten an einem Widerstand festklammern, oder wenn wir uns mit den Armen oder Schultern nach oben stemmen. Die Schulter wird durch ihre Hebemuskeln am Stamm gehalten oder nach oben bewegt, während eine fremde Gewalt oder die Streckmuskulatur des Stammes und der Beine die Stammursprünge jener Muskeln hochhält oder nach oben treibt.

Beim Anstemmen einer Schulter nach vorn und nach vorn außen treten die Muskeln in Aktion, welche die Vorbewegung des Stammes gegenüber der Schulter und die Rückbewegung der Schulter gegenüber dem Stamm verhindern. Die Clavicula wird je nach Umständen auf Zug oder auf Druck in Anspruch genommen. Von den Muskeln sind namentlich der Serratus anterior, die vorderen Stammschultergürtelmuskeln und der Sternokostalteil des großen Brustmuskels tätig. Beim Anstemmen der Schulter nach hinten und nach hinten außen wirken am Stamm die äußeren Kräfte nach hinten, an der Schulter nach vorn. Die Clavicula ist auf Druck in Anspruch genommen. Die

:ewegung zwischen Stamm und Schulter wird verhindert durch die .nspannung der Rhomboidei, des Trapezius und des Latissimus dorsi.

Die Herabzieher der Schulter aber müssen gespannt sein, wenn r Stamm in den Schultern hängt. Es ist dabei gleichgültig, ob die

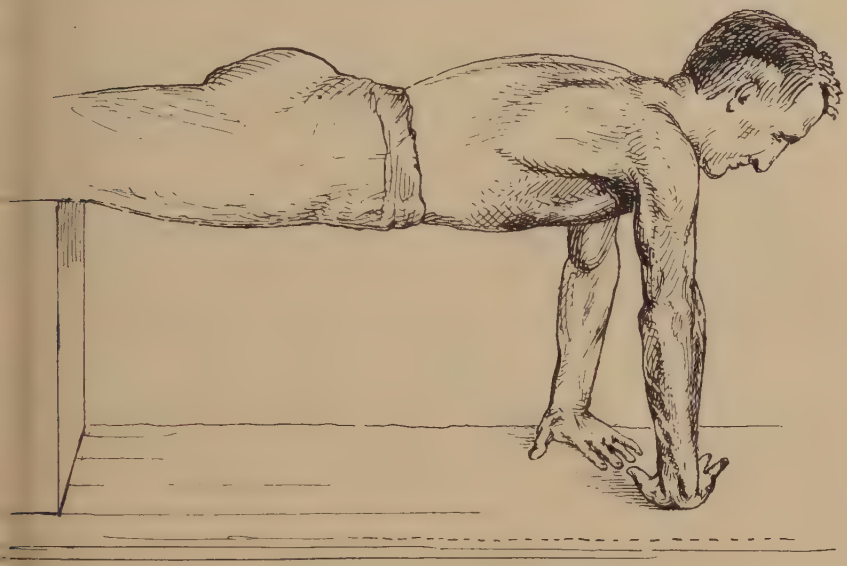


Fig. 53a. Umzeichnung nach Steinemann.

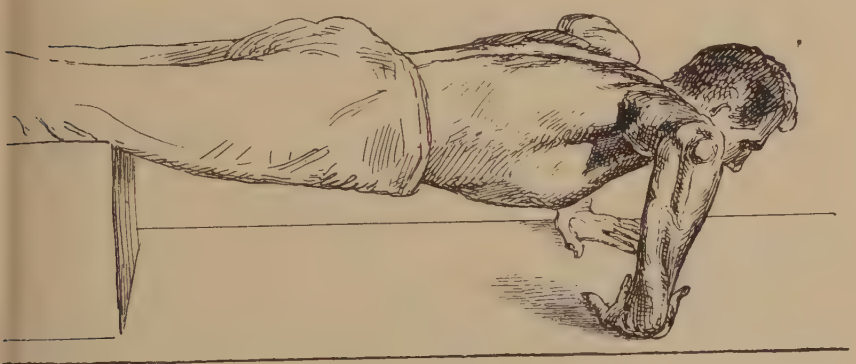


Fig. 53b. Umzeichnung nach Steinemann.

äußeren Widerstände an der Schulter direkt oder durch Vermittlung der Arme angreifen.

Besonders interessant, weil er an die Verhältnisse beim Stand der vierfüßigen Tiere erinnert, ist der Fall, in welchem der Körper

in der Armliegestütze mit der Bauchseite nach unten (vorlings) gehalten wird (Fig. 53). Der Stamm hängt hier zwischen den Schultern, welche durch die ventralwärts geführten (gestreckten oder zusammengeknickten) Arme unterstützt sind, und drängt zwischen ihnen ventralwärts. Die vordere Brustwand bildet mit der Vorderwand der Achselhöhle und mit den Mm. serrati anteriores eine doppelte Halfter, in welcher die übrige Last des Vorderkörpers ruht. Ähnlich ist es beim Stand der Vierfüßler. Je mehr das Schulterblatt aus der sagittalen Stellung nach außen abgedreht ist, desto mehr muß die ventrale, von der ventralen Wand des Achselraumes gebildete Halfter im Vergleich zu der von den Serrati gebildeten gespannt sein, wenn das Schulterblatt nicht noch weiter vom Stamm aus nach außen abgedreht werden soll. Die vorderen Rippen stellen bei den vierfüßigen Säugetieren fast vertikal gestellte starke Stützsäulen dar, welche die Wirbelsäule und die an ihr angehängte Last tragen. Mit der horizontalen Armliegestütze vorlings bei gestreckten oder gebeugten, eingeknickten Armen stimmt überein der horizontale Hang in den stark dorsalwärts geführten Armen, deren Endteile dorsal vom Stamm festgehakt oder festgeklammert sind (Armliegehang vorlings). Die Stellung des Schulterblattes zum Stamm ist hier natürlich eine andere als bei der Armliegestütze. Beim Streckhang finden wir den Thorax zurückgebeugt und die Schulterblätter ihm gegenüber stark aufgerichtet. Wir werden auf die Verhältnisse beim Streckhang später noch zurückkommen.

ε) Einiges über den Einfluß der Lähmung von Schultermuskeln.

Die Lähmung eines Teiles der Schultermuskulatur muß zur Folge haben, daß bei gleicher Anspannung der übrigen Muskeln die Einstellung der Schulter eine andere ist, oder daß für die gleiche Stellung die Spannungsverhältnisse in den übrigen Muskeln andere sind als gewöhnlich; anders als gewöhnlich verhalten sich auch die Spannungsänderungen beim Übergang aus einer Lage in die andere. Gewisse Stellungen und Stellungsänderungen können wohl unter Umständen anscheinend wie gewöhnlich vorgenommen werden, der Ausfall der Tätigkeit des gelähmten Muskels erscheint für den Augenblick oder bleibend kompensiert, letzteres, wenn die vikariierend stärker gespannten Muskeln durch funktionelle Anpassung verstärkt sind; im einen wie im anderen Falle aber wird eine genaue Untersuchung des Zustandes der Muskeln die Veränderung erkennen lassen. Wenn auch für einzelne Stellungen und Bewegungen die funktionelle Kompensation eine vollständige ist, so kann sie es doch nicht in allen sein, und es wird immer gewisse Stellungen und Bewegungen geben, die von den bei den gleichen Anlässen beim Gesunden vorkommenden verschieden sind. Von praktischer Bedeutung ist die richtige Diagnose der Muskelveränderung behufs eventueller Therapie. Sie setzt Übung in der Beurteilung der mechanischen Verhältnisse voraus. Andererseits muß aber auch das genauere

tudium dieser Verhältnisse für die Auffassung des mechanischen Ge-
hehens bei den Bewegungen der Schulter neue Aufklärung bringen.

1. Lähmung des Trapezius.

Sie verrät sich, abgesehen von sichtbaren Veränderungen des Ober-
ächenreliefs und von palpablen Veränderungen der Muskelsubstanz,
der Ruhehaltung der Schulter bei herabhängenden Armen
ich Mollier darin, daß die Schulterhöhe der kranken Seite deutlich
is 5,5 cm) weiter nach vorn steht als an der gesunden Seite. Auch
eht sie wohl etwas tiefer. Ein tieferer Stand wird namentlich dadurch
ranlaßt, daß oben das Sternum eine Deviation nach der kranken
eite hin erfährt. Die Basis scapulae ist von den Dornen weiter ent-
rnt als in der Norm, namentlich oben, so daß sie mehr oder weniger deut-
h medianwärts absteigt. Das Schulterblatt ist mehr quer ge-
chtet. Diese Erscheinungen erklären sich unter der Annahme, daß auch
i der Normalhaltung die Muskeln beteiligt sind. Da die Lähmung des
rapezius Querrichtung des Schulterblattes bewirkt, so schließen wir
f die gewöhnliche Mitwirkung (seines oberen Teiles zur Aufrichtung
s Schulterblattes) bei der Normalhaltung des Gesunden. Die stärkere
orführung der Schulter weist darauf hin, daß in der Norm der obere
il des Trapezius wesentlich rückwärtsziehend wirkt. Daß die Schulter
icht stärker nach unten gesunken ist (im Sternoklavikulargelenk), zeigt,
aß in der Norm die Wirkung des Trapezius mehr in der Rückführung
ls in der Hochhaltung der Schulter besteht, letztere also wohl wesent-
h von den Hebemuskeln der Basis bewirkt wird. Die mit der Zeit
ntretende leichte Deviation des oberen Sternumendes nach der Seite
er Lähmung zeigt, daß an der gesunden Seite, entsprechend dem Zug
er äußersten Partie des Trapezius nach innen ein erheblicher Längs-
ruck in der Clavicula besteht, der nun an der gelähmten Seite fehlt.
Die stärkere Spannung der unteren Teile des Serratus vermag zwar
vohl den drehenden Einfluß des Trapezius etwas zu ersetzen, aber
loch den quer richtenden Einfluß der Basismuskeln nicht völlig auf-
uheben. Sie trägt natürlich zur größeren Senkung und Vorführung
ler Schulter bei.

Noch charakteristischer sind die Veränderungen der Bewegung
les Schultergürtels und Armes.

Die Hebung nach vorn geschieht von Anfang an bei vorgeführtem
Schulterblatt. Wegen des Ausfalles des Trapezius fehlt bei stärkerer
Hebung die Rückführung der Schulterhöhe; es wird die sagittale Um-
tellung der Scapula noch in besonderer Weise durch Umrollung nach
orn vermehrt, wobei sich die Basis etwas vom Stamm abhebt (s. Merkel
Fall von Stange], Zubka 1899, Mollier).

Die Hebung des Armes nach vorn ist dank dem Serratus ant.
is über die Horizontale hinauf möglich, führt aber, da der untere Tra-
ezius nicht mitwirkt, leichter zur Ermüdung (des Serratus ant.). Das
Maximum der Hebung dagegen ist gegenüber der Norm deutlich herab-
esetzt, indem die hierfür notwendige Rückführung der Schulterhöhe

nicht ausgeführt werden kann. Eine stärkere Anspannung der Rhomboidei vermag hier den Ausfall nur unvollkommen zu kompensieren, indem diese Muskeln weniger die Schulterhöhe zurückführen, als vielmehr die Basis scapulae heben und das Schulterblatt im äußeren Schlüsselbeingelenk quer richten. Daß der obere Teil des Rhomboideus jemals soll zur Aufrichtung des Schulterblattes beitragen können (Mollier), ist mir nicht verständlich.

Die Gesamtaufrichtung des Schulterblattes kann nach Mollier höchstens den Betrag von 15° statt von 30° erreichen. Eine Kompensation kann höchstens in einer stärkeren Rückbeugung des Stammes gesucht werden.

Am auffälligsten ist die Störung bei der seitlichen Hebung des Armes. Hier geschieht unter normalen Verhältnissen die Aufrichtung des Schulterblattes bei dorsaler Lage und frontaler Stellung desselben, und zwar im Akromialgelenk wesentlich durch den unteren Trapezius (nur im Anfang auch durch den Serratus inferior), in der inneren Schlüsselbeinjunktur aber durch den oberen akromialen und den klavikularen Teil des Trapezius (s. o.). Durch die Lähmung des Trapezius muß also der Hauptfaktor für die Aufrichtung in Wegfall kommen.

Die Möglichkeit der Rückführung und Frontalstellung des Schulterblattes ist aufgehoben resp. stark eingeschränkt. Das Schulterblatt bleibt von den Wirbeldornen entfernt und in mehr sagittaler Stellung. Es muß infolge davon die Seitenstellung des Armes durch stärkere dorsale Ablenkung im Schultergelenk erreicht werden. Die seitliche Hebung muß in extremer dorsaler Stellung durch die hinterste Portion des Deltoides geschehen. Sie kann infolge davon auch im Schultergelenk nicht so weit wie gewöhnlich getrieben werden. In der Tat läßt sich der Arm nach Mollier bei Lähmung des Trapezius seitlich nur etwa um 75° heben.

Levator scapulae und Rhomboidei sind bei Trapeziuslähmung hypertrophisch gefunden worden; es ist aber daraus wohl nicht der Schluß zu ziehen, daß sie nur infolge der Lähmung bei der Hebung und Hochhaltung des Armes beteiligt sind, vielmehr die Annahme zulässig, daß ihre letztgenannte Funktion nur gegenüber der Norm vergrößert, und daß bei den Rhomboidei auch die Tätigkeit zur Rückführung der Schulter gesteigert ist.

Partielle Lähmung des Trapezius, bloß in seiner oberen Portion, verrät sich bei der reinen Schultererhebung. Letztere kann nur etwa halb so weit geschehen als in der Norm (5 statt 10 cm, Mollier).

2. Lähmung des Serratus anterior.

Wäre der Schulterarmkomplex in der gewöhnlichen Ruhehaltung, bei herabhängendem Arm in den beiden Schlüsselbeingelenken rein passiv, durch Knochen- und Bänderhemmung festgehalten, so könnte die Lähmung des Serratus eine charakteristische Veränderung der Schulterstellung nicht zur Folge haben. Eine genaue Untersuchung

ißt aber eine Modifikation der Stellung erkennen. Vor allem zeigt sich ie Schulterhöhe etwas nach hinten verschoben und wohl auch etwas ehoben. Die Basis scapulae und namentlich die Spitze des Schulterlattes sind den Wirbeldornen etwas genähert; auch in günstigen Fällen ißt sich stärkeres Vortreten der Basis und besonders der Spitze des chulterblattes aus der Oberfläche des Rückens konstatieren (s. Fig. 54). ieses Verhalten ist leicht zu verstehen auf rund der Annahme, daß sich bei der normalen Ruhehaltung der Serratus und namentlich sein unterer Teil, aber auch der rapezius und die Rhomboidei mit dem evator in aktiver Spannung befinden, obei die an der Basis und am Angulus capulae angreifenden Muskeln den Schulerarmkomplex tragen helfen, zugleich ber mit der Einwirkung der Schwere ein räftepaar zur Querrichtung des Schulterlattes geben, welchem durch ein entgegengesetzt wirkendes Kräftepaar Gleichgewicht gehalten werden muß. Letzteres ird dargestellt durch die Spannung des nteren Serratus und durch den Trapezius. cheidet der Serratus aus, so erfolgt tatächlich Drehung des Schulterblattes im Sinne der Querrichtung, bis die über die Spitze des Schulterblattes hinübergespannten Teile und die stärkere Anspannung des Trapezius (namentlich seiner Randteile) in genügender Weise hemmen; dabei kommt nun aber die Wirkung des Trapezius zur Rückführung (und Hebung) des Schulterblattes, welche in der Norm durch den Serratus aufgehoben ist, zur Geltung.

Fig. 54, nach Mollier.

Alle diese Erscheinungen treten deutlicher hervor, wenn der herabhängende Arm ein Gewicht trägt, oder wenn er in der Ebene des Schulterblattes gehoben und gar noch dabei belastet ist, oder wenn er in dieser Ebene nach vorn außen gegen einen Widerstand andrängt. Die Basis scapulae und namentlich die Spitze des Schulterblattes treten dann noch viel deutlicher und bei mageren Körpern geradezu flügelförmig nach hinten und innen aus dem Rücken heraus. Noch deutlicher ist dieses Vortreten, in etwas größerem Abstand von den Wirbeldornen, wenn die Arme horizontal nach vorn gehoben sind. Die Wirkung des Serratus zur Vorführung des Schulterblattes ist hier ausgeschaltet; es können dafür nur der Pectoralis minor und der mittlere Teil des Pectoralis major in Betracht kommen; letzterer wirkt außerdem mit seiner mittleren und seiner klavikularen Portion und zusammen mit der Klavikularportion des Deltoides zur Umrollung der Scapula nach vorn. (Durch die vorderen Stamm-Arm- und Schultergürtelarmmuskeln ist natürlich eine Ventralablenkung des Armes im Schultergelenk zustande gebracht.) Das starke Vortreten der Basis scapulae bei ver-

hältnismäßig stark rückgeführtem Schulterblatt ist besonders charakteristisch für den Ausfall des Serratus.

Wenn der Arm nach vorn gehoben ist, so liegt die Resultierende der Schwerkraftseinwirkung auf dem Schulterarmkomplex nicht in der Ebene des Schulterblattes. Das von der Schwerkraft und den Hebemuskeln des Schulterblattes (Rhomboidei, Levator scapulae, Komponente des oberen Trapezius) gebildete Kräftepaar enthält dann neben einer Komponente in der Ebene des Schulterblattes noch eine Komponente in einer dazu senkrecht stehenden Vertikalebene. Letzterem wird Gleichgewicht gehalten, indem sich oben das Schulterblatt der Breite nach auf die Clavicula und den Thorax anstemmt und unten der Breite nach vom Thorax abhebt, soweit der Luftdruck (s. o.) und die darüber

Fig. 55, nach Mollier.

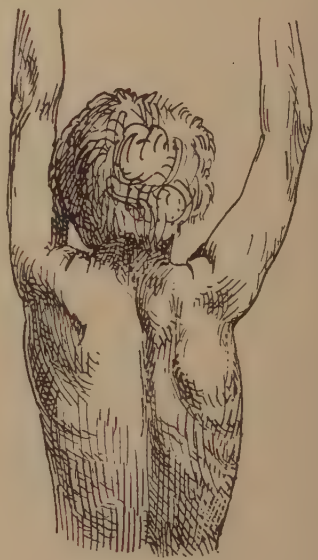


Fig. 56, nach Mollier.

weggespannten Teile es gestatten. Die in der Ebene des Schulterblattes wirkende Komponente sucht bei Versteifung des Armes mit dem Schulterblatt den Arm zu senken und den Schulterblattarmkomplex im Sinne der Querstellung des Schulterblattes zu drehen. Eine starke Anspannung der Randteile des Trapezius wirkt zwar dieser Drehung entgegen, scheint aber kaum auszureichen, um die Basis scapulae der Mittelebene parallel zu halten. Von einer Unterstützung der Armhebung durch Aufrichtung des Schulterblattes kann nicht die Rede sein (Fig. 56, rechts).

Es fragt sich nun, wie weit bei Serratuslähmung der Arm (ohne Schleudern) über die Horizontalebene gehoben werden kann. Es würde bei einer solchen Hebung zwar das Moment des von

er Schwerkraft und den Schulterblatthebemuskeln gebildeten Kräfte-aares wieder kleiner werden. Aber selbst die allerstärkste Anspannung er Randteile des Trapezius und besonders seiner unteren, aufsteigenen Fasern vermag die Spitze des Schulterblattes nicht viel nach ußen und nicht bis an die Seite des Thorax zu bringen. Durch starke erkürzung der mittleren Teile des Trapezius kann dabei wohl der Winkel des Schulterblattes nahe an die Wirbeldornen gebracht und er Basis scapulae eine auswärts absteigende Richtung erteilt werden. Die Aufrichtung erreicht aber günstigsten Falles gegenüber dem Thorax aum den Betrag von 20°. Ferner ist das Schultergelenk immer noch ark frontal gestellt. Soll nun am Schulterblatt maximale Hebung n Betrag von 112—120° stattfinden, so muß sie in der Ebene des Schulterlattes geschehen. Wir erhalten also günstigsten Falles eine Erhebung es Armes gegenüber der Mittelebene des oberen Thoraxabschnittes on 130—140°, und zwar keine reine Hebung nach vorn, sondern nach orn außen. Es ist zwar von manchen Untersuchern eine größere Erebung des Armes bei Serratusähmung beobachtet worden. Dieselbe ist aber wohl auf Rechung der Rückbeugung des Stammes und einer Hinüberbeugung ach der anderen Seite zu etzen (Fig. 56). Reine Hebung ach vorn (bei ventralwärts im Schultergelenk abgelenktem Oberarm) ist natürlich nur in inem geringeren Betrag möglich.

Fig. 57, nach Mollier.

Bei der rein seitlichen Hebung des Armes macht ich die Serratuslähmung am venigsten bemerkbar, indem ja auch unter normalen Verhältnissen bei dieser Bewegung die Verkürzungsfähigkeit des Muskels nur unvollkommen ausgenutzt wird. Durch stärkere Anspannung der mittleren Teile des Trapezius wird schon in der Norm die Schulterhöhe möglichst rückgeführt und der Angulus den Dornen möglichst genähert. Durch besonders starke Anspannung der Randteile des Trapezius kann auch bei ausgeschalteter Serratuswirkung eine geringe Aufrichtung des Schulterblattes erzwungen werden; doch erreicht sie kaum denselben Betrag wie beim Gesunden. Ein Ausgleich ist möglich durch Biegung des Stammes nach der anderen Seite. Die Schulter scheint an der kranken Seite etwas höher am Thorax zu stehen als auf der gesunden Seite (Figg. 56 und 57, rechts).

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß bei Serratuslähmung an den Trapezius größere Anforderungen gestellt werden. Die klinische Erfahrung lehrt, daß bei möglichst guter Kompensation in der Tat der Trapezius in allen Teilen hypertrophisch ist.

3. Lähmung der Rhomboidei und des Levator scapulae

Über den Einfluß der Lähmung der Rhomboidei und de Levator scapulae sind wir zur Zeit nur ungenügend unterrichtet Die obere Partie des Trapezius, insbesondere der zur Spina gehend Teil muß wohl imstande sein, durch stärkere Anspannung und Aus bildung den Ausfall dieser Muskeln teilweise zu kompensieren. Dieser Annahme stehen allerdings die auf S. 123 zitierten Beobachtungen von Duchenne und Erb entgegen.

II. Vorderarm und Hand.

.. Orientierung über das Skelett und die in ihm möglichen Bewegungen.

Im **Vorderarm** beginnt das Skelett der oberen Extremität sich chenhaft auszubreiten. Es liegen hier zwei Knochen der Länge nach beneinander, die Ulna (Elle), welche sich an den medialen Teil des teren Humerusendes (Trochlea) anschließt, und der Radius (Speiche), lcher an dessen lateralen Teil (Eminentia capitata) anstößt. Beide nochen berühren sich oben und unten in den beiden Radioulnargelenken. Zwischen inne stehen sie unter Bildung eines Spatium terosseum voneinander ab. Den Zwischenraum überspannt fast lückenlos die Membrana interossea als Füllung des langgezogenen Skelettrahmens. Indem in der Hand die Verbreiterung des Skeletts in gleichem Sinne weitergeht, entspricht die eine, volare Breitseite dieses Rahmens der Hohlhandfläche (Vola manus), die andere, dorsale dem Handrücken.

Das Skelett der **Hand** besteht aus einer einfachen Schicht von Skelettstücken. Zunächst dem Vorderarm liegen diese geschlossen wie Pflastersteine nebeneinander (Handwurzel, Carpus). Distalwärts gliedert sich das Handgelenk in fünf gegliederte Strahlen, die mit ihren ersten Gliedern, den Metacarpalia, noch in einer gemeinsamen Weichteilschicht stecken, während die Endteile mit ihren Untergliedern (Phalangen) je eine besondere Weichteilhülle besitzen und mit dieser die Finger bilden.

α) Skelett des Vorderarms.

1. Die Ulna.

Das obere Ende der Ulna umfaßt die Rolle des Humerus in flacher Kehle, deren hinterer Schenkel das Olekranon, der vordere den Processus coronoides darstellt. Das Olekranon erscheint im wesentlichen als in der Fortsetzung des Mittelstückes der Ulna gelegen, während der Processus coronoides einen quer nach vorn ausragenden, zahnartigen

Fortsatz darstellt. Das Mittelstück der Ulna verjüngt sich distalwärts
Oben kantig, wird es gegen das untere Ende hin mehr drehrund. Aus
seinem schlanken unteren Ende geht unter plötzlicher Verdickung das
stempelartig gestaltete Köpfchen (Capitulum ulnae) hervor, das
eine quere, annähernd ebene Endfläche besitzt. Doch ragt über diese

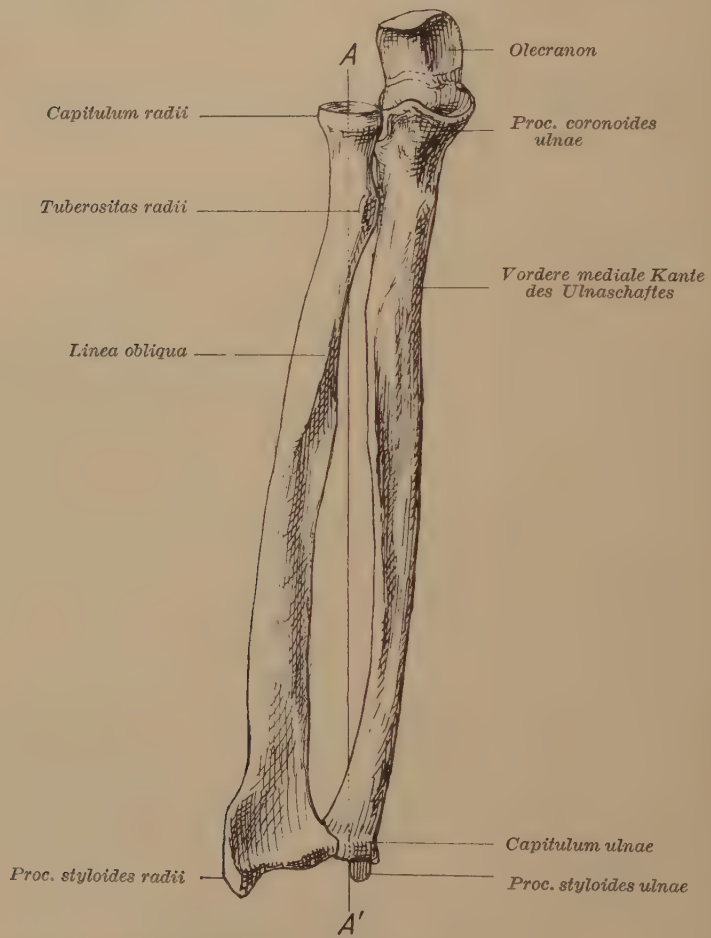


Fig. 58. Ulna und Radius (in Supinationsstellung) von vorn. Rechter Arm.

aus dem hinteren Umfang der Processus styloides distalwärts vor,
gleichsam als Fortsetzung der hinteren Kante der Ulna, welche am
Mittelstück in der ganzen Länge deutlich ist. Oben breitet sich die
hintere Kante zur flachen dreieckigen Rückseite des Olekranon aus.
Dreieckfläche und Hinterkante bis zum Processus styloides liegen von

Muskeln nicht bedeckt unmittelbar unter der Haut. Das obere Ende der Ulna mit dem Olekranon ist etwas nach innen abgeknickt. Namentlich deutlich biegt der obere Teil der Hinterkante der Ulna nach innen ab und stellt sich dem vom Epicondylus lateralis herkommenden M. anconaeus schräg entgegen. Das untere Ende der Ulna zeigt umgekehrt eine leichte Abbiegung und am Köpfchen eine stärkere Ausladung nach außen. Letzteres ist wichtig mit Rücksicht auf die Lage der Pronations-Supinationsachse (s. S. 312).

2. Der Radius.

Der Radius hat umgekehrt wie die Ulna an seinem oberen Ende ein stempelartig gestaltetes drehrundes Köpfchen (Capitulum radii).

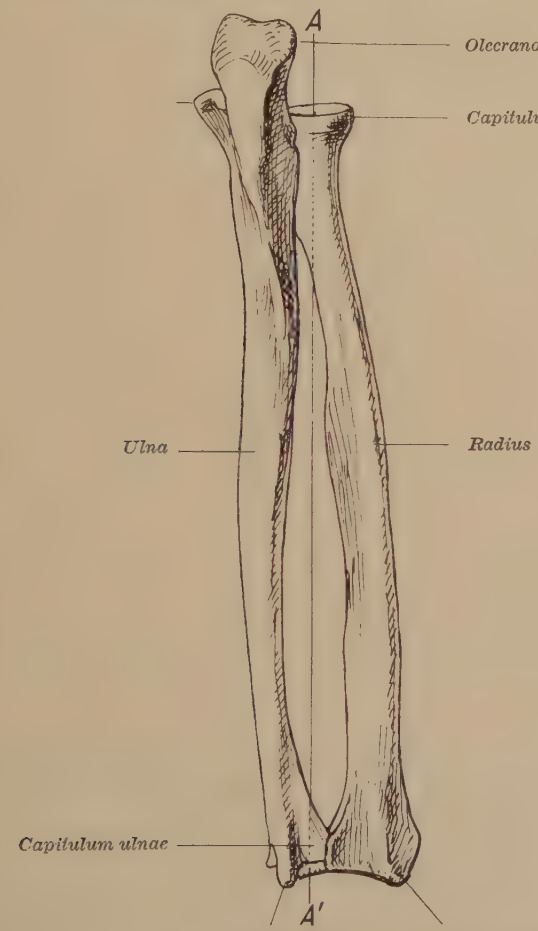


Fig. 59. Ulna und Radius (supiniert) von hinten. Rechter Arm.

Er verdünnt sich unterhalb desselben alsbald zu einem schlanken Hal
und gewinnt von da an allmählich distalwärts an Mächtigkeit. E
wächst dabei namentlich in die Breite und ist so mit der Handwurze
verbunden, daß die eine Breitseite der volaren, die andere der dorsale
Seite der Hand entspricht. Das Radiusköpfchen liegt an der Außen-

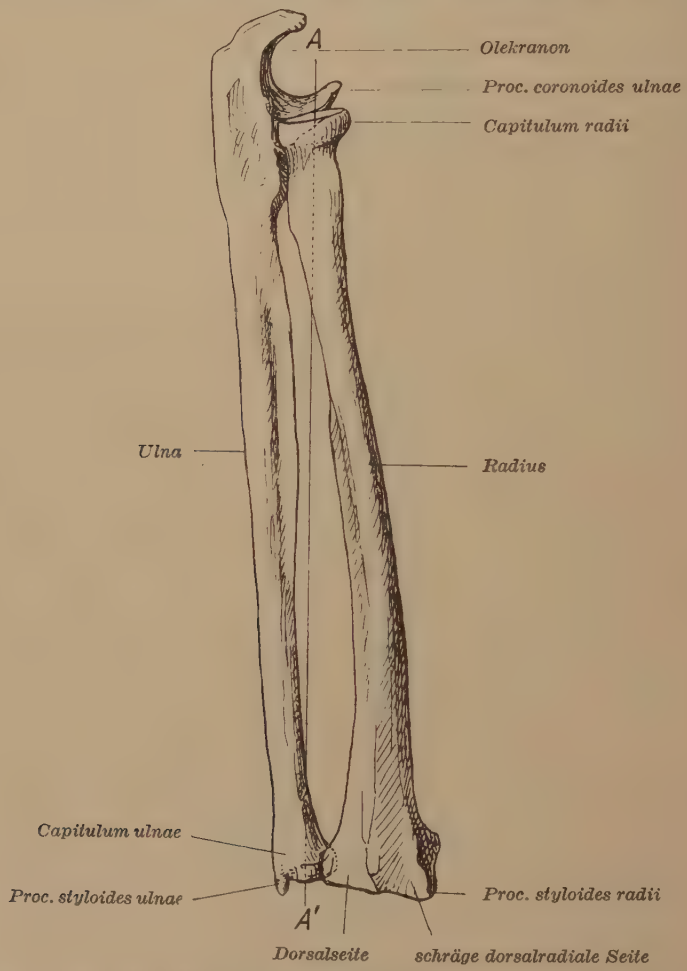


Fig. 60. Ulna und Radius (in Mittelstellung) von außen. Rechter Arm.

seite des Processus coronoides ulnae und ist mit seiner zylindrischen
Randfläche in eine längsgestellte Rinne des letzteren (Sinus lunatus,
Incisura semilunaris minor) hineingepaßt, so daß es sich in ihr
wie ein Zapfen in einem Zapfenlager drehen kann (oberes Radio-
ulnargelenk). Am distalen Ende ist derjenige Schmalrand, welcher

r Kleinfingerseite der Hand entspricht, dem Ulnaköpfchen zugewendet lnarrand) und bildet eine kurze Längsrinne für dasselbe (Sinus lunatus).

Unterhalb des Radiushalses ragt die Tuberositas radii (Ansatzstelle der ceps-sehne) volarwärts und ulnarwärts vor (Orientierung auf das untere Radius-de bezogen). Distalwärts davon tritt an der ulnaren Seite eine scharfe Schneide f, während die gegenüberliegende Seite den gerundeten Rücken des Keiles dar-lt. Die Schneide wird nach der Hand zu allmählich unansehnlicher und stumpfer. s untere Ende schwillt namentlich durch Ausladung nach der volaren und ch der ulnaren Seite ziemlich plötzlich an. Es ist im Querschnitt trapezförmig d zeigt eine schmalere dorsale und eine breitere volare Breitseite. Die von der na abgewendete Schmalseite, man könnte sie die abulnare nennen, steht schräg r Dorsalseite zugewendet und bildet mit der schmaleren dorsalen Breitseite e stumpfe, mit der breiteren volaren eine scharfe Längskante.

Wenn sich das Köpfchen des Radius oben in der Seitenrinne s Processus coronoides dreht, schwenkt das untere Ende wie ein Tür-igel um das Köpfchen der Ulna herum. Die Achse der Drehung kann ir durch die Mitte des Radiusköpfchens oben und durch die Mitte s Ulnaköpfchens unten gehen (s. Figg. 58 bis 60).

Von der ulnaren queren Randkante des unteren Radiusendes aus tzt sich eine faserknorplige Platte unter der queren Endfläche des lnaköpfchens vorbei gegen den Processus styloides ulnae hin fort. nachdem sich diese Platte ulnarwärts spitz auszieht oder nicht, ist e dreieckig oder schildförmig oder mehr halbmondförmig. Immerhin irfte die eingebürgerte Bezeichnung als Dreieckplatte (Cartilago riquetra) für alle Fälle beibehalten werden.

Das ulnare Ende der Platte ist mit dem Processus styloides ulnae rch weiche gefäßhaltige Bandmasse (Lig. subcruentum) ver-nden. So kann die Dreieckplatte an der Bewegung des Radius egenüber der Ulna teilnehmen.

β) Das Skelett der Hand.

1. Übersicht über die Skeletteile.

Wir unterscheiden am Handskelett ebenso wie an der mit Weich-eilen bekleideten Hand die volare und die dorsale Breitseite, und einen adialen und ulnaren Längsrand (Daumen- und Kleinfingerrand). Die Strahlen der Hand werden von der radialen Seite nach der ulnaren zu umeriert, die Phalangen jedes Strahles vom proximalsten Element aus ach den distalen hin.

Im Vergleich zu den Längenverhältnissen des Tarsus, Metatarsus nd Zehenteiles des Fußes (5 : 3 : 2) sind die Proportionen an der Hand esentlich andere. Es verhalten sich die Längen des Carpus, des Meta-arpus und des aus Phalangen gebildeten Endteiles der Handstrahlen n Mittel wie 2 : 3 : 5. $^{7}/_{10}$ der Handlänge entfallen auf den Strahlen-eil. Auf die aus Phalangen gebildeten Endteile der Strahlen (in len Fingern) im Durchschnitt drei und auf den Carpus zwei Zehntel er Länge. Der Daumenstrahl besitzt bekanntlich zwei, die vier übrigen Strahlen haben drei Phalangen.

Die Elemente des Carpus sind deshalb verhältnismäßig zierlich und klein. Sie sind in zwei Querreihen angeordnet. In der ersten oder **proximalen Handwurzelreihe** folgen vom Daumen- (oder radialen) Rand zum Kleinfingerrand (ulnaren Rand) aufeinander: Das Kahnbein (Os naviculare oder scaphoideum), das Mondbein (Os lunatum), das Dreieckbein (Os triquetrum) und das Erbsen-

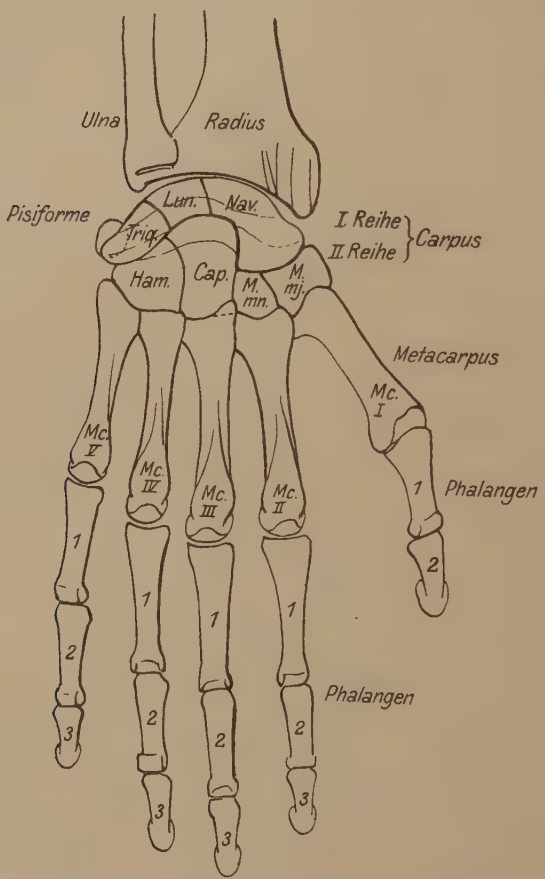


Fig. 61.

bein (Os pisiforme). Die drei erstgenannten allein beteiligen sich an der Bildung der Gelenkfläche für den Radius. Sie allein bilden auch eine Gelenkfläche für die zweite Handwurzelreihe. Das Pisiforme steht neben aus.

In der **zweiten Handwurzelreihe** folgen vom radialen zum ulnaren Rande der Hand aufeinander: das Trapezbein (Os trapezium) oder

oße Vieleckbein (Multangulum majus), das Trapezoidbein er kleine Vieleckbein (Os trapezoides, Multangulum minus), s Kopfbein (Os capitatum) und das Hakenbein (Os hamatum).

Eine Sägefläche, welche möglichst mitten durch die Dicke der andwurzelknochen und der distalwärts und proximalwärts angrenzenn Skelettstücke geführt ist, ist in Fig. 64 wiedergegeben.

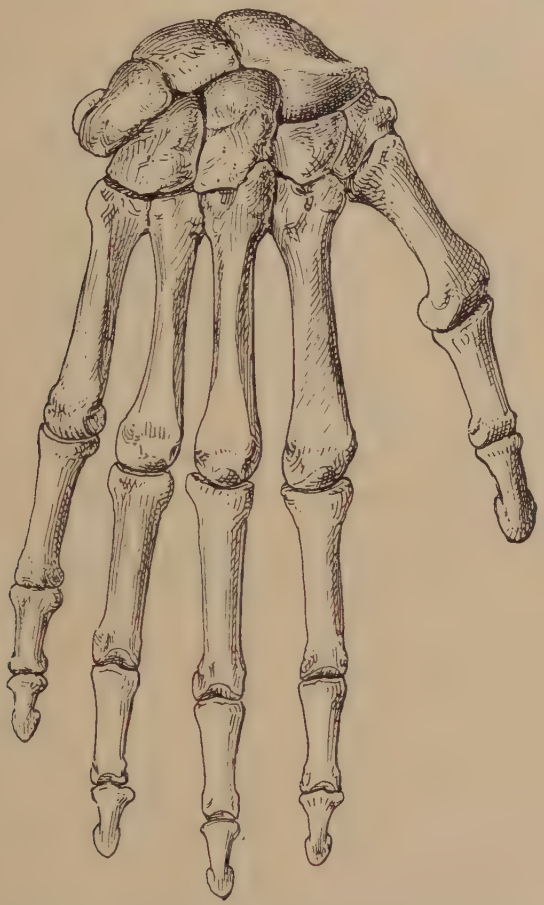


Fig. 62. Skelett der rechten Hand. Dorsalseite.

Die Trennungsfläche zwischen dem Carpus und dem Metacarpus (der Gesamtheit der Metacarpalia) zeigt folgende Besonderheiten: Das Capitatum ragt über die Nachbarelemente etwas distalwärts vor. Dieser vorragende Teil wird von den Basen des II. und IV. Metacarpale zwischengefaßt. Die Endfläche ist ziemlich genau oben und quer zur Mittellinie der Hand gestellt.

Das Hamatum zeigt auf seiner distalen Endfläche zwei Facetten, welche in flacher, dachförmiger, dorsovolar verlaufender First zusammentreffen, für das V. und das IV. Metacarpale. Das Capitatum und die beiden Multangula tragen auf ihren distalen Endflächen je nur ein Metacarpale (das I., II. und III.). Dabei sind die Basen der vier ulnaren Metacarpalia bis zur Berührung zusammengeschlossen,

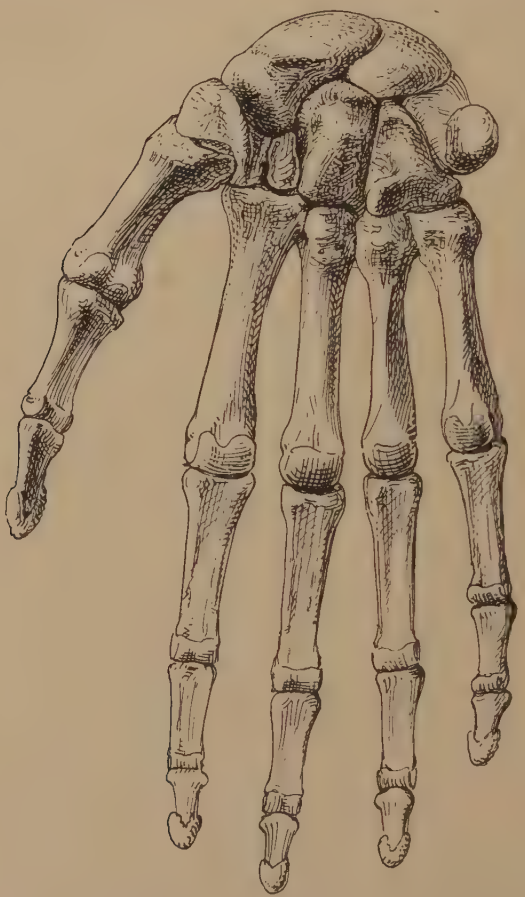


Fig. 63. Skelett der rechten Hand. Volarseite.

während die Basis des I. Metacarpale von derjenigen des II. etwas abgerückt ist. Das Trapezoidbein hat eine dorsovolarwärts verlaufende flache First, welche in die Basis des II. Metacarpale eingreift. Andererseits ragt die Basis des III. Metacarpale mit ihrer radialen dorsalen Ecke weiter proximalwärts nnd bildet einen stumpfen, „griffelförmigen" Fortsatz nach dem Trapezoidbein hin, auf Kosten des ulnaren Schenkels

er Basis des zweiten Metacarpale (Fig. 62). An der Volarseite dagegen hiebt sich das II. Metacarpale bis ans Capitatum (Fig. 63). Die istale Endfläche des Trapezbeines ist sattelförmig gekrümmt; die Längsehtung des Sattels verläuft in radio-ulnarer Richtung.

Die erste Handwurzelreihe bildet einen großen, nach dem Vorderrm zu konvexen Bogen. Die Trennungsfläche zwischen der ersten nd zweiten Handwurzelreihe erscheint mit ihrem radioulnaren Hauptrofil wellenförmig proximalwärts ausgebogen, mit steilerem radialem bsturz der Welle. Der Gipfel und der Steilabhang der Welle ist m Capitatum gebildet, der ulnare Teil des weniger steilen Wellen-

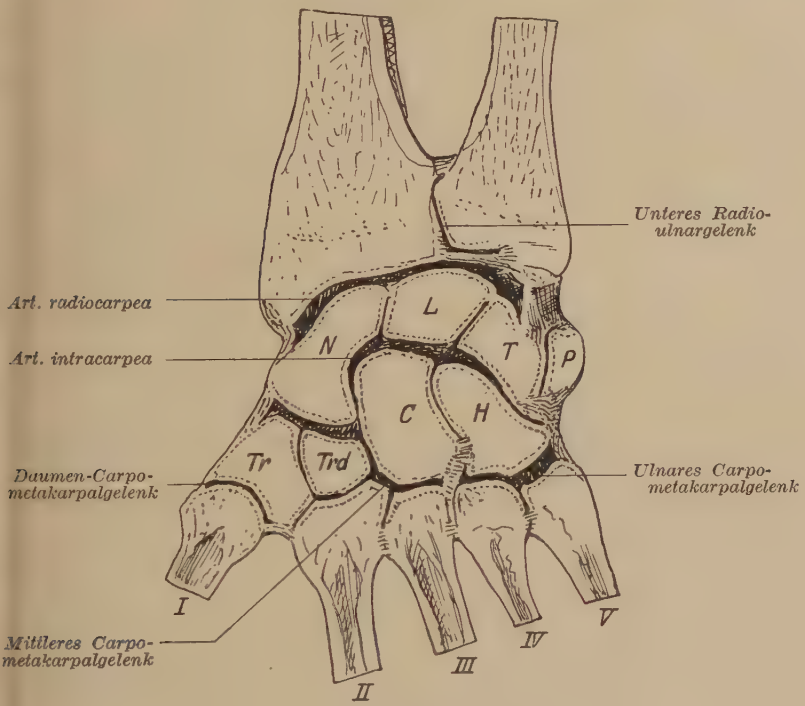


Fig. 64.

rückens vom Hamatum, der Grund des radialen Wellentals von den beiden Multangula. Über den Gipfel der Welle hinüber krümmt sich der vom Triquetrum, Lunatum und Naviculare gebildete Knochenbogen so, daß die Grenze zwischen Lunatum und Naviculare ungefähr dem Wellengipfel entspricht, das Naviculare in das radiale Wellental bis zu den Multangula eingreift, die Grenze zwischen Lunatum und Triquetrum nicht weit entfernt vom Capitatum auf das Triquetrum trifft.

Der ganze Carpus bildet in seiner Hauptmasse eine vom radialen zum ulnaren Rand dorsalwärts konvexe Platte, deren Längsränder

volarwärts ragen. Dazu kommen am radialen und am ulnaren Rand je zwei noch weiter nach der Vola vorragende Teile: am radialen Rand an der ersten Handwurzelreihe das Pisiforme, an der zweiten Reihe etwas mehr radialwärts gelegen der Hamulus ossis hamati, am ulnaren Rand an der ersten Reihe die Tuberositas ossis navicularis, nahe der Gelenkfläche für das Trapezbein und an der zweiten Reihe die schärfer vorspringende Tuberositas des Trapezbeins, welche als ein Wulst etwas schräg zur Längsrichtung des ersten Strahles ulnarwärts distalwärts verläuft. Diese Vorragungen begrenzen eine an der Volarseite der Handwurzel im ganzen etwas radialwärts distalwärts verlaufende Längsrinne, deren Mittellinie vom Lunatum gegen den ulnaren Schenkel der II. Metakarpalbasis hinzieht (volare Handwurzelrinne).

Quer zur Längsrichtung zeigt der Carpus eine Einknickung nach der Volarseite, welche namentlich radialerseits an der Dorsalseite, zwischen dem Naviculare und den Multangula deutlich ist; doch setzt sich die dorsale quere Knickungsfurche auch noch über die Mitte des Capitatum hinüber fort, um über dem Triquetrum zu verschwinden. Die Größe der Knickung zwischen dem Naviculare und den Multangula variiert mit der Stellung der zweiten zur ersten Handwurzelreihe. Ein dorsovolarer Längsschnitt durch das III. Metacarpale und das Capitatum zeigt das in Fig. 79 dargestellte Bild. Die longitudinalen Trennungsflächen zwischen den Elementen der Handwurzelreihen verlaufen gegen diese Knickungsfurche hin etwas radialwärts.

Die zweite Handwurzelreihe ist am Gipfel der Welle auch in dorsovolarer Richtung proximalwärts konvex, während die Randteile ihrer proximalen Fläche, namentlich an den Multangula proximalwärts konkav gekrümmt sind. Entgegengesetzt gekrümmt in dorsovolarer Richtung sind die gegenüberstehenden distalen Endflächen der ersten Handwurzelreihe am Naviculare und Triquetrum, wobei zu bemerken ist, daß am Naviculare die dorsovolare Krümmung viel enger ist, so daß Berührung mit den Multangula in mittleren Stellungen nur in schmalem Bezirk stattfindet (s. u.).

Die proximale Fläche der ersten Handwurzelreihe bildet im radioulnaren Hauptprofil einen breiteren, proximalwärts konvexen Bogen. Aber auch in dorsovolarer Richtung zeigt sich die genannte Fläche überall, und zwar in engerem Bogen proximalwärts konvex.

2. Übersicht über die Gelenke der Hand.

Eine erste Übersicht über die **Gelenke der Hand** erhalten wir aus der Fig. 64 (Sägeschnitt durch die Mitte der Dicke der Hauptplatte und die angrenzenden Knochen). Von Gelenken, an welchen die Hand direkt beteiligt ist, kommen in Betracht (Fig. 65):

a) Das Radiokarpalgelenk zwischen Vorderarmskelett und erster Handwurzelreihe,

b) das Pisiforme-Gelenk zwischen Pisiforme und Triquetrum (kleines Intrakarpalgelenk),

c) das (große) Intrakarpalgelenk zwischen der ersten und zweiten Reihe, mit longitudinalen Nebengelenkspalten, die zwischen die Elemente der beiden Reihen eindringen,
d) drei Carpo-Metakarpalgelenke,
e) fünf Metacarpophalangealgelenke,
f) ein Interphalangealgelenk am Daumenstrahl, je zwei an den übrigen Strahlen.

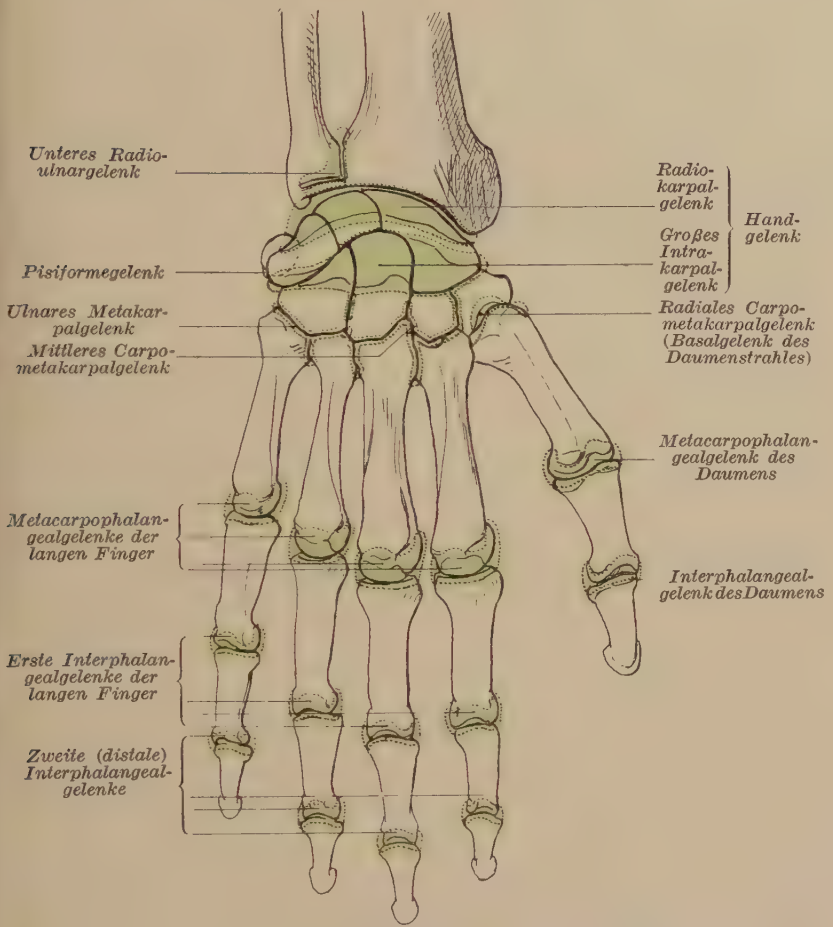


Fig. 65. Übersicht über die Gelenke der Hand.

Die überknorpelte Endfläche des Radius und die obengenannte faserknorplige Dreieckplatte bilden die Pfanne des Radiokarpalgelenkes; Naviculare, Lunatum und Hamatum bilden den gegenüberstehenden konvexen Gelenkkörper. Die Längsspalten zwischen diesen

drei Elementen sind am proximalen Ende durch den fortlaufenden proximalen Knorpelüberzug und durch Ligg. interossea geschlossen.

Die genannten drei Elemente der ersten Handwurzelreihe sind entsprechend der wellenförmigen Trennungsfläche von der zweiten Handwurzelreihe durch eine zusammenhängende Gelenkspalte getrennt, welche sich zwischen die drei am Radiokarpalgelenk beteiligten Elemente der proximalen und zwischen sämtliche Elemente der distalen Reihe in Nebenspalten fortsetzt. Dorsal und volar und an beiden Rändern des Carpus ist ein Kapselabschluß (stellenweise bandartig verstärkt) vorhanden. So ist ein großes Intrakarpalgelenk gebildet, das wir kurzweg als das Intrakarpalgelenk bezeichnen werden.

Ein kleines selbständiges Intrakarpalgelenk besteht allerdings außerdem zwischen Triquetrum und Pisiforme (Erbsenbeingelenk).

In der Zone der Carpo-Metakarpalverbindung sind meist drei getrennte Gelenkspalten vorhanden, eine an der Basis des I. Metacarpale, eine an der Basis von Metakarpale II und III mit Seitenspalten zu beiden Seiten der III. Metacarpalbasis. Eine dritte Carpo-Metakarpalspalte liegt an der Basis des IV. und V. Metacarpale. Wir können also von einem radialen, mittleren und ulnaren Carpo-Metakarpalgelenk sprechen.

Zwischen dem Capitatum und dem Multangulum minus oder nach R. Fick häufiger zwischen dem Trapezoidbein und dem Trapezbein hindurch, mitunter auch an beiden Stellen, kommuniziert das große Intrakarpalgelenk mit dem mittleren Carpo-Metakarpalgelenk. Das ulnare Carpo-Metakarpalgelenk kann von der distalen Nebenspalte des Intrakarpalgelenkes zwischen Capitatum und Hamatum erreicht werden oder durch ein Lig. interosseum von ihm getrennt sein. Das radiale Carpo-Metakarpalgelenk bleibt so gut wie immer getrennt.

Auf die Carpo-Metakarpalgelenke folgen distalwärts die fünf Metacarpo-Phalangealgelenke und auf diese weiterhin am Daumen ein Interphalangealgelenk, an den vier übrigen Fingern aber je ein erstes und ein zweites Interphalangealgelenk.

Das Radiokarpal- und das Intrakarpalgelenk mit der dazwischenliegenden ersten Handwurzelreihe bilden das gemeinsame Handgelenk. In demselben stellt gleichsam die erste Handwurzelreihe (ohne das Pisiforme) einen gegliederten knöchernen Meniscus dar. Diese Auffassung ist um so mehr gerechtfertigt, als die über das Radiokarpalgelenk hinwegziehenden Sehnen sich im wesentlichen (s. u.) nicht an diesem Element, sondern erst jenseits, an der zweiten Handwurzelreihe oder noch weiter distalwärts an den Handstrahlen anheften, wobei in eine derselben das Pisiforme eingeschaltet ist.

3. Vorläufige Orientierung über die an der Hand möglichen Bewegungen.

Das Skelett der Hand besitzt wie dasjenige des Fußes einen verhältnismäßig starren mittleren Grundteil, an welchen sich einer-

eits der aus den Strahlen gebildete, aktiv und passiv bewegliche terminale Randteil anschließt, andererseits aber ein unter größerem Widerstand abbiegbarer und umstellbarer proximaler Randabschnitt. Der starre Mittelteil wird vor allem durch die zweite Handwurzelreihe gebildet. Durch die Nachgiebigkeit des proximalen Randabschnittes wird der Umfang der Stellungsänderung des Grundteiles der Hand gegenüber dem Vorderarm vergrößert, die Verbindung mit ihm zugleich in eine mehr elastische und federnde umgewandelt.

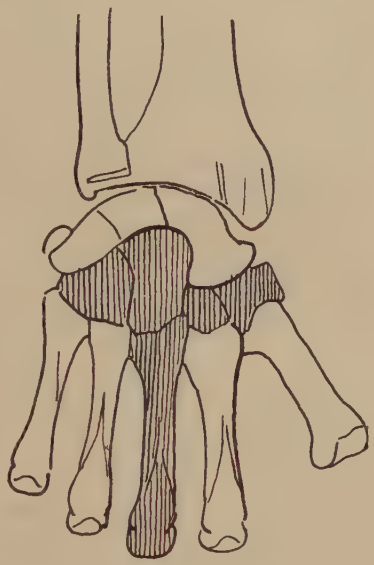


Fig. 66.

Die Strahlen der Hand sind in ähnlicher Weise gegliedert, in den Gelenken ähnlich beschaffen und in ähnlicher Weise von Muskeln bedient, wie die Strahlen am Fuß. Auch sie können nach der einen (hier der volaren) Seite eingekrümmt, nach der anderen (dorsalen) Seite gestreckt und stellenweise sogar dorsalwärts abgebeugt werden. Auch bei ihnen ist die Möglichkeit seitlicher Bewegung gegeben. Nur sind die Längenmaße viel bedeutender, die Bedienung der einzelnen Strahlen durch die Muskeln viel mehr spezialisiert. Dazu kommt als eigenartiges Merkmal der Hand die größere Beweglichkeit und Opponierbarkeit der Randstrahlen, namentlich des Daumens. Das alles befähigt den terminalen Randteil der Hand zu viel ausgiebigerer und mannigfaltigerer Formveränderung und zu vielseitigeren Leistungen im Vergleich zum Randteil des Fußes. Die Finger können einzeln oder gruppenweise zu Haken eingekrümmt werden. Der Daumen, indem er sich den übrigen Fingern gegenüberstellt, kann mit jedem einzelnen oder mit mehreren derselben zugleich eine ein- resp. mehrschenklige Zange, Klammer oder Pinzette bilden. Es können von den verschiedenen Fingern gleichzeitig verschiedenartige Bewegungen in der mannigfaltigsten Kombination ausgeführt werden. Die Strahlen lassen sich im Fingerteil und in der Handplatte zusammenschließen und auseinanderspreizen.

Ein so kunstvolles Werkzeug mit seinem reichgegliederten, von seiten der Muskeln und des Nervensystems vorzüglich bedienten Hebelwerk müßte aber in seiner Verwendbarkeit erheblich beschränkt sein, wenn es nicht möglich wäre, die Hand sozusagen in jeder Stellung und Richtung und andererseits in den verschiedensten Lagen und Entfernungen vom Rumpf den äußeren Gegenständen, auf welche eingewirkt werden soll, anzulegen. Für den Wechsel der Lage im Raum sorgen vorzugsweise die Bewegungen im Ellbogengelenk und im Schultergelenk,

weiterhin aber auch diejenigen zwischen Schulter und Stamm, im Stamm selbst und in den unteren Extremitäten.

Bei gestrecktem Arm und festgestelltem Schulterblatt kann die Hand etwa im achten Teil einer um das Schultergelenk herumgelegten Kugelfläche verkehren. Bei Zuhilfenahme von Stellungsänderungen in den Beingelenken, bei welchen die Beine immer noch annähernd gestreckt bleiben, und die Beckenneigung nicht wesentlich geändert wird, sowie von Biegungen und Drehungen im Stamm und von Bewegungen der Schulter gegen den Stamm kann aber die Hand fast im ganzen Umfang einer Kugelfläche herumbewegt werden (mit Ausnahme eines Bezirkes hinten, welcher dem vorderen Verkehrsgebiet bei festgestellter Schulter und aufrechter, symmetrischer Körperhaltung gegenüberliegt). In den mittleren Stellungen kann dabei der Arm durch Längsrotation im Schultergelenk im Mittel um 90° gedreht werden; durch Beugung im Ellbogengelenk mit und ohne gleichzeitige Stellungsänderung im Schultergelenk läßt sich ferner die Hand fast an jede Stelle des Raumes im Innern jener Kugelfläche bis heran zum Stamm und zu den Oberschenkeln verbringen.

Für die Stellungs- und Richtungsänderung der Hand in irgend einer Lage ist in erster Linie von Bedeutung die passive und aktive Beweglichkeit der Hand gegenüber dem Radius und die Möglichkeit ihrer Umstellung mit dem Radius gegenüber der Ulna. Diese Stellungsänderungen sind es, welche vor allem näher geprüft werden sollen.

4. Stellungsänderungen der Hand gegenüber dem Radius und der Ulna.

Was die Stellungsänderungen der Hand gegenüber dem Radius betrifft, so erkennt man leicht, daß die Mittellinie der Hand aus der Streckstellung, bei welcher sie mit der Längsrichtung des Radius zusammenfällt, nach allen Seiten hin abgelenkt, gebeugt werden kann. Wir unterscheiden naturgemäß vier Hauptseiten, nach welchen hin die Ablenkung stattfinden kann; sie kann nach der dorsalen oder nach der volaren Breitseite des Radiusendes hin, oder nach seinem ulnaren oder seinem abulnaren („radialen") Rand hin geschehen. Dementsprechend sind neben einer Streckstellung der Hand (von R. Fick als Neutralstellung bezeichnet) vier Beugestellungen mit verschiedenen Graden der Beugung zu unterscheiden, eine Dorsal- und eine Volar-, eine Radial- und eine Ulnarbeugestellung. Es kann sich aber auch Ablenkung nach der dorsalen oder volaren Seite mit Ablenkung nach der radialen oder ulnaren Seite kombinieren.

Die Unterscheidung einer volaren und einer dorsalen Breitseite des Radiusendes weist schon darauf hin, daß dabei die erstere stets in die Dorsalseite der Hand, die letztere stets in die Volarseite der Hand fortgesetzt bleibt. In der Tat sind aktive und passive Längsrotationen der Hand um ihre Mittellinie auch bei den mittleren Stellungen der letzteren so gut wie ganz ausgeschlossen und ent-

pricht jeder Beugestellung der Handmittellinie eine ganz bestimmte tellung der übrigen Punkte des starren mittleren Abschnittes der Hand. Venn bei einer bestimmten Richtung der Mittellinie der Hand Längs-tationen der letzteren trotzdem möglich sind, so geschehen sie nicht n Handgelenk, sondern durch Bewegungen, welche die Hand zusammen nit dem Radius gegenüber der Ulna ausführt.

Indem die Beugung der Hand gegenüber dem Radius wenigstens ür die erste Betrachtung ohne Längsrotation stattfindet, gehen bei der Dorsalbeugung aus der Streckstellung die dorsale, bei der Volarbeugung ie volare Breitseite der Hand voraus, bei der reinen Radialbeugung ber der radiale, und bei der Ulnarbeugung der ulnare Rand.

Korrekterweise muß man jede Rückbewegung der Hand aus einer Beugestellung in die Streckstellung als eine „Streckung" bezeichnen nd müßte man demnach zum mindesten vier verschiedene Haupt-rten der Streckung unterscheiden, sowie Kombinationen zwischen wei sich nicht gegenseitig ausschließenden Hauptarten der Streckung.

Um nicht vier verschiedene Hauptarten der Streckung neben vier erschiedenen Hauptarten der Beugung unterscheiden zu müssen und och die Ausdrücke Beugung und Streckung beibehalten zu können, at man die Dorsalbeugung auch noch als Streckung oder als Über-treckung oder Hyperextension und die Rückkehr aus der Dorsalbeuge-tellung in die Streckstellung auch noch als Flexion bezeichnet! Ein iel korrekterer Weg der Vereinfachung ist aber darin gegeben, daß ıan die ganze Bewegung, bei welcher die Volarseite der Hand voraus-eht, als Volarbewegung, die Bewegung, bei welcher die Dorsalseite orausgeht und als Dorsalbewegung bezeichnet und in analoger Weise on einer Radialbewegung spricht, wenn der Radialrand der Hand orausgeht und von einer Ulnarbewegung, wenn der Ulnarrand voraus t. (Vgl. die Bemerkungen im II. Bd. S. 218.) Die Anzahl der zu nterscheidenden Hauptbewegungen reduziert sich so auf vier.

Es handelt sich bei diesen Bewegungen um Drehungen um an-ähernd quer zur Längsrichtung des Radius oder der Hand verlaufende Achsen. (Das genauere Verhalten soll später untersucht werden.) Sie eschehen teilweise im Intrakarpal-, teilweise im Radiokarpalgelenk, lso in dem Gebiet, welches vom Laien einfach als Handgelenk be-eichnet wird, und welches wir das „gemeinsame Handgelenk" nennen ollen.

Die Bewegungen aber, durch welche die Hand gegenüber der Ulna m eine Längsachse gedreht wird, erweisen sich bei genauerer Unter-uchung nicht als Drehungen um die Mittellinie der Hand, sondern als Drehungen um eine Achse, welche durch das Köpfchen der Ulna und asjenige des Radius geht; der Radius bewegt sich dabei mit der Hand n den beiden Radioulnargelenken. Wir nennen diese Drehung Pro-ation, wenn die Volarseite der Hand vorausgeht, und Supination, enn die Dorsalseite vorausgeht. Über die Berechtigung und Zweck-näßigkeit dieser Bezeichnung werde ich mich später aussprechen (siehe . 308).

Die Muskeln, welche über das Handgelenk hinweggehen, haben sämtlich Einfluß auf die Stellung der Mittellinie der Hand. Man kann die eingebürgerte Einteilung in Flexoren und in Extensoren, bzw. Radial- und Ulnarflexoren und -Extensoren beibehalten. Die Flexoren verdienen ihren Namen insofern, als sie in der zweiten Hälfte ihrer totalen Verkürzung die Hand aus der Streckstellung beugen, die Extensoren, indem sie die Hand aus der Beugestellung, bei welcher sie am meisten gedehnt sind, in die Streckstellung überführen helfen (erste Hälfte ihrer Totalverkürzung).

B. Muskeln und Faszien des Vorderarms und der Hand und ihre Präparation.

α) Übersicht der Muskelgruppierung an Vorderarm und Hand.

1. Dorsale Muskeln (vom N. radialis versorgt).

Sie enden zum Teil im Vorderarm selbst, zum Teil gehen ihre Sehnen bis zu den Metacarpalia und zu den Phalangen der Finger. Ihre Fleischbäuche liegen wesentlich nur im Gebiet des Vorderarmes; einige erstrecken sich über das Ellbogengelenk bis in den Oberarm hinein; die Hand lassen sie, von Varietäten abgesehen, frei.

Wir unterscheiden drei Gruppen von je vier Muskeln.

a) Radiale Gruppe:

M. supinator (Supinator brevis) . . .
M. extensor carpi radialis brevis . . .
M. extensor carpi radialis longus . . .
M. brachioradialis (Supinator longus) .

in der Reihenfolge von der Tiefe nach der Oberfläche hin aufgezählt.

b) Gruppe der schrägen Muskeln. Sie überkreuzen teilweise im Verlaufe distalwärts radialwärts die vorigen Muskeln.

M. abductor pollicis longus . . . . .
M. extensor pollicis brevis . . . . . .
M. extensor pollicis longus . . . . . .
M. extensor indicis proprius (M. indicator) . . . . . .

in der Reihenfolge von der radialen zur ulnaren Seite hin aufgezählt.

c) Ulnare Gruppe. Sie deckt oben die schrägen Muskeln.

M. extensor digitorum communis . . .
M. extensor digiti minimi . . . . . .
M. extensor carpi ulnaris . . . . . .
M. anconaeus . . . . . .

in der Reihenfolge von der radialen zur ulnaren Seite aufgeführt.

Man kann den M. supinator ganz gut auch zu den schrägen Muskeln rechnen. Dann ergeben sich drei Gruppen zu 3, 4 und 5 Muskeln (radiale, ulnare und schräge dorsale Muskeln).

. **Volare Muskeln (vom N. medianus und N. ulnaris versorgt).**

a) Die kurzen Muskeln der Handstrahlen bilden das tiefe olare Muskelpolster der Hand; sie sind an den Rändern des Handtellers ächtig entfaltet (Daumenballen und Kleinfingerballen). Die Über- cht über die einzelnen Muskeln dieser Gruppe folgt später.

b) Die vier tiefen volaren Muskeln des Vorderarms. Ihre ehnen ziehen zum Teil durch die volare Handwurzelrinne zu der Hand nd sind dort dem tiefen Muskelpolster aufgelagert. Sie erstrecken sich oximalwärts nur bis zur Linea obliqua und zum Proc. coronoides ulnae nd liegen am Vorderarm in drei Schichten:

Tiefe Schicht: M. pronator teres.

Mittlere Schicht: Zwei tiefe lange Fingerbeuger und zwar: radialerseits der M. flexor pollicis longus, ulnarerseits der M. flexor digitorum communis (longus) profundus. Ihre Sehnen gehen zur letzten Phalanx des Daumens und der 4 langen Finger; von den 4 Sehnen des gemeinsamen tiefen Fingerbeugers entspringen die 4 Mm. lumbricales, die sich dem tiefen Muskelpolster der Hand anschließen.

Oberflächliche Schicht: M. flexor digitorum communis sublimis, gibt 4 Sehnen zu den zweiten Phalangen der langen Finger.

c) 4 oberflächliche volare Muskeln des Vorderarms. Vom picondylus medialis des Humerus und seiner Nachbarschaft in einer chicht fächerartig ausstrahlend. Von der Radialseite zur Ulnarseite er Reihe nach aufgezählt sind es:

1. der M. pronator teres, 2. der M. flexor carpi radialis, 3. der M palmaris longus, 4. der M. flexor carpi ulnaris.

d) Oberflächlich von der Faszie des Handtellers liegt der M. palmaris brevis.

β) Muskeln und Faszie der Dorsalseite.

1. Muskeln und Sehnen.

Die Muskeln der radialen Gruppe greifen über das Ellbogenelenk bis zum Epicondylus lateralis und über denselben an der lateralen Humeruskante weit hinauf, zwischen Triceps- und Bicepsgruppe (Extensor carpi radialis lg. und Brachioradialis). Sie schieben sich oben über den Radius, der ja auch schon gegenüber der Ulna nach der Beugeseite zu gelegen ist, noch weiter nach der Beugeseite vor, besonders stark bei gebeugtem Arm und um so mehr, je weiter oben am Oberarm sie entspringen. Die beiden Radialextensoren bleiben einander in ihrem Verlauf annähernd parallel, so daß der kürzere, der Flexionsextensionsachse näher gelegene bis zur Hand mehr nach der Ulna zu liegt und an der Basis des III. Metacarpale endet, während der oberflächlichere, längere

Radialextensor mehr ulnar gelegen ist und sich an der Basis des II. Meta-
carpale anheftet. Die Sehnen der beiden Muskeln liegen am unteren
Ende des Radius auf der schräg dorsalwärts gewendeten abulnaren
Randfacette dieses Knochens. Der M. supinator, der tiefste Muske

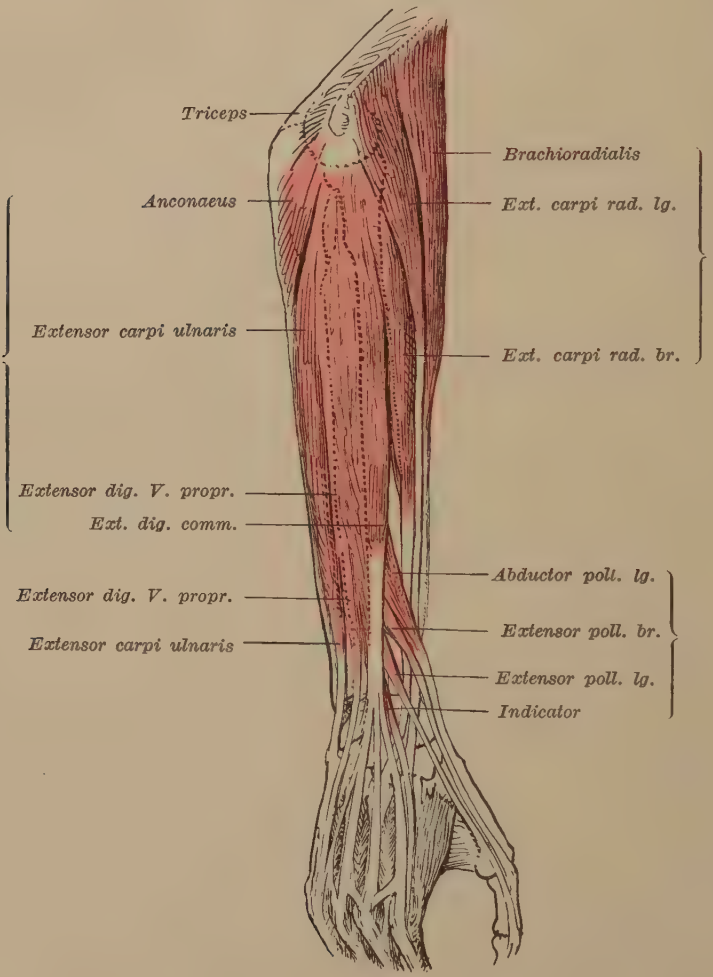


Fig. 67. Dorsale Muskeln des Vorderarmes. Gruppe der schrägen Muskeln

der radialen Gruppe, erstreckt sich vom Lig. annulare radii und der
von seinem hinteren Ansatz proximalwärts weiterlaufenden Kante der
Ulna nur bis zur Linea obliqua des Radius und schlingt sich dabei mit
seinen Fasern distalwärts volarwärts um den Radius herum. Er kann

uch zu den schrägen Muskeln gerechnet werden, an die er sich oben un-ittelbar anschließt. Der oberflächlichste, am meisten abulnar ge-gene und deshalb am meisten nach der Beugeseite vorspringende Muskel er radialen Gruppe, der Brachioradialis, endet mit langer Sehne

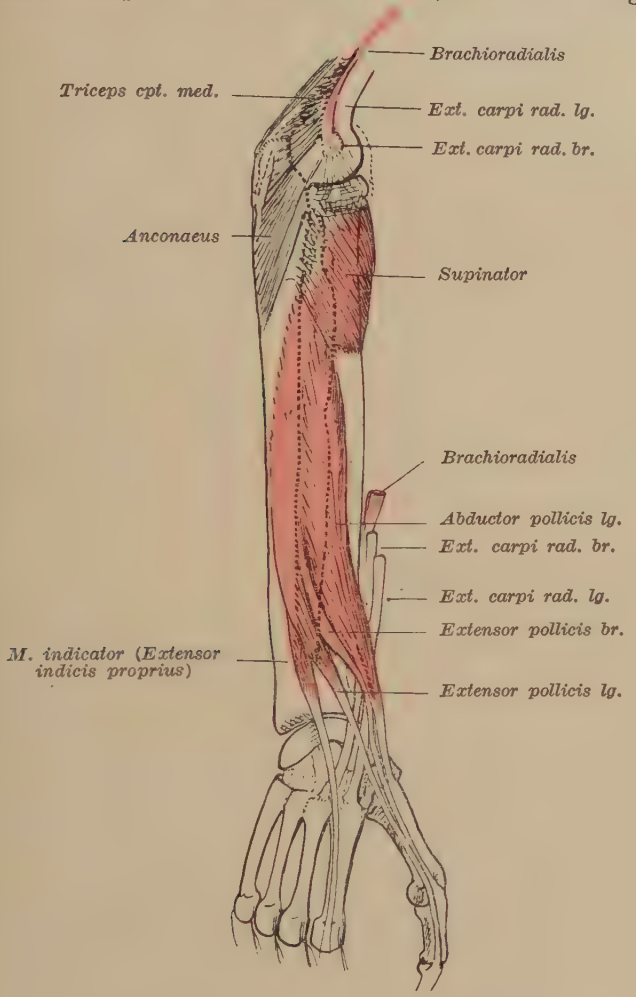


Fig. 68. Dorsale Muskeln des Vorderarmes.

n der am meisten abulnarwärts vorspringenden Partie des unteren Radiusendes.

Die 4 schrägen Muskeln entspringen von der Ulna und der Membrana interossea und entfernen sich wie die Fasern des Supinator n ihrem Verlauf distalwärts von der Ulna. Der oberste endet an der

Basis des ersten Metacarpale (Abductor pollicis), der zweite an der Basis der ersten, der dritte an der Basis der zweiten Daumenphalanx (Extensor pollicis brevis und longus). Diese 3 Muskeln überkreuzen mit ihren Sehnen die Radialextensoren in der Gegend des Handgelenkes. Der vierte Muskel der Gruppe (M. indicator) überkreuzt erst an der Hand die Sehne des Extensor carpi rad. br. und geht zur Dorsalseite des Zeigefingers. Der lange Daumenextensor überkreuzt mit seiner Sehne die Kante zwischen der dorsalen und der schrägen abulnaren Facette des unteren Radiusendes.

Die ulnaren Muskeln decken ihrerseits wieder am Vorderarm oben vollständig die schrägen Muskeln und schließen sich hier oberflächlich mit der radialen Gruppe zusammen.

Die Sehne des Ext. carpi ulnaris geht über das Ulnaköpfchen hinweg zur Basis des 5. Metacarpale; die Sehnen des Ext. digit. minimi und des Ext. digit. comm. liegen mit der Indicatorsehne an der dorsalen Breitseite des Radiusendes nahe beisammen und gehen von hier aus wie die Strahlen eines Fächers zu den Fingern hin auseinander.

Verhalten der Strecksehnen an der Dorsalseite der Finger. Am Daumen und Zeigefinger, manchmal auch am 5. Finger handelt es sich um zwei Strecksehnen, an den übrigen Fingern nur um eine. Die beiden Sehnen verschmelzen alsbald am Zeigefinger und 5. Finger, so daß hier wie an den übrigen langen Fingern weiterhin eine einheitliche sog. „Dorsalaponeurose" vorhanden ist, der sich von der Volarseite der Finger resp. der Hohlhand her beiderseits (außer an dem freien Rand des 5. Fingers), noch dreieckig verbreiterte Sehnen der Mm. interossei und lumbricales anschließen.

Fig. 69. Strecksehne am 4. Finger.

Eine Überstreckung findet an den vorletzten Interphalangealgelenken der langen Finger so gut wie nie und an den Metacarpophalangealgelenken nur bei stark dorsalwärts gestellten Fingern statt. Diese Gelenke sind also in der gewöhnlichen Mittelstellung nahe der Dorsalseite konvex. Dies macht verständlich, daß die Randpartien der über diese Gelenke hinüberziehenden Strecksehnen, der stärksten Vorragung des Gelenkes ausweichend, meist auf beiden Seiten von ihr, nur locker mit der Gelenkkapsel verbunden, weiterziehen und sich jenseits auf dem Rücken des folgenden Gliedes wieder zusammenschließen, eventuell sogar kreuzen. Sie bleiben diesem Glied gegenüber verschieblich und gelangen bis zum folgenden Fingerglied, während die mittleren Fasern, die über die höchste Vorragung des Gelenkes hinwegziehen, sich mit dem Endteil der Gelenkkapsel verbinden und mit ihr an der Basis der be

chbarten Phalanx festheften (s. Fig. 69). Dieser Vorgang wiederholt sich an n Metacarpophalangeal- und an den ersten Interphalangealgelenken der langen nger. (Am Daumenmetacarpophalangealgelenk liegen etwas abweichende Ver- ltnisse vor.) An den Endgelenken und an der Basis der Endphalanx gelangt r ganze Rest der Sehne zur Anheftung.

Fig. 70 *A—F.*

Dieselben Verhältnisse zeigen sich an den Strecksehnen der Zehen an den rletzten Interphalangealgelenken. An den Metatarsophalangealgelenken aber nd wegen der Dorsalstellung der ersten Zehenglieder die mittleren Fasern der hnen am meisten abgehoben und verlaufen zum folgenden Gelenk weiter, während e Randfasern sich mit der Gelenkkapsel und der ersten Phalanx verbinden.

Verhalten der Fingerstrecksehnen am Handrücken. An Rücken der gemeinsamen Handplatte sieht man die für die langen Finger bestimmten Strecksehnen fächerartig auseinandergehen. E bestehen aber zwischen ihnen näher den Fingern in größerer oder ge ringerer Zahl schmalere oder breitere brückenartige, meist schräge seltener quere Verbindungen, welche offenbar der isolierten Bewegung der einzelnen Finger bis zu einem gewissen Grade hinderlich sind. Diese Brücken erscheinen öfters als Abzweigungen der direkt zu den Meta carpophalangealgelenken verlaufenden Hauptzipfel; manchmal abe handelt es sich darum, daß ein Strahl des Sehnenfächers sich für zwe offenbar gleich gut in seiner Richtung gelegene Finger in zwei Zipfe spaltet, so daß hier die Strahlen des Fächers von Anfang an den Inter digitalräumen und nicht den Fingern entsprechen (Fig. 70 D).

Aus einer Reihe von 24 untersuchten Präparaten von Erwachsenen habe ich die wichtigsten Typen in der Fig. 70, A—F abgebildet. A stellt die primitivste Form dar, wie sie wohl ursprünglich überall bei Embryonen vorhanden sein möchte. Eine dreieckige Sehnenplatte des Extensor communis hängt hier brei mit der Sehne des Extensor digiti minimi zusammen.

Bei B zeigt sich eine schon etwas weiter fortgeschrittene Sonderung Doch geht in der Regel die Zerschlitzung der Sehnenplatte noch weiter. Der zum zweiten Finger gehende Streifen kann vom übrigen Teil vollständig isoliert sein oder mit ihm noch durch eine annähernd quer verlaufende, im allgemeinen ziemlich dünne, breitere oder schmalere Brücke verbunden bleiben. Die Sehne des Indicators verläuft meist völlig isoliert bis zur Höhe des Metacarpophalangealgelenkes wo sie ulnarerseits neben der Sehne des gemeinsamen Streckers liegt. Der Teil der Sehnenplatte, welcher den 3., 4. und 5. Finger versorgt, zeigte sich niemals in vollständig getrennt zu den Fingern verlaufende Streifen zerlegt. Von einer mittleren Partie zweigen meist Zipfel ab, welche nach beiden Seiten schräg zu dem für den 3. Finger und zu dem vom Extensor digit. minimi stammenden für den 5. Finger bestimmten Streifen treten. Proximal von dieser Abzweigung kann der mittlere Streifen einfach oder in 2 oder 3 Teile gespalten sein. Selten ist die Verbindung zwischen den zum 3. und den zum 4. Finger gehenden Fasern eine rein quere Brücke. Die ursprüngliche Verbindung zwischen der Sehnenplatte des Extensor communis und des Extensor digiti minimi kann in sehr mannigfaltiger Weise zerschlitzt werden, wie ein Blick auf die Abbildungen zeigt.

Endlich gibt es Fälle, in denen die Sehnen für jeden Finger vollständig isoliert verlaufen. Mittlere Finger können auch zwei Sehnen erhalten, welche die höchste Höhe des Knöchels zwischen sich lassen. Den isolierten Sehnen entsprechend ist auch das Muskelfleisch weit hinauf in einzelne Portionen gespalten.

Die Vermutung liegt nahe, daß die Entwicklung nur im Sinn einer weiter gehenden Sonderung der Sehnen fortschreiten kann und daß frühzeitige Übung in der isolierten Bewegung der einzelnen Finger (bei gehinderter Bewegung der Nachbarfinger) die Spaltung zu befördern, verbindende Zipfel und Brücken weiter zu isolieren, vielleicht auch z. T. zu verdünnen oder sogar zu lösen vermag. Es wäre zu untersuchen, ob bei Leuten, welche nur grobe Handarbeit verrichten, die Brücken breiter und zahlreicher sind. Immerhin muß hervorgehoben werden, daß wir bereits bei Neugeborenen, ja selbst bei Feten vom 6. und 7. Monat neben Fällen mit wenig gesonderter Sehnenplatte auch schon die anderen Formen gefunden haben, wie ja auch offenbar schon in diesem Entwicklungsalter eine isolierte Bewegung einzelner Finger wie beim Erwachsenen mehr oder weniger gut möglich ist. Der (durch Übung zu verbessernden) Fähigkeit zur isolierten Bewegung der einzelnen Finger muß natürlich auch eine weitergehende Sonderung der den einzelnen Sehnen zugehörigen Fleischportionen und eine besondere Spezialisierung des Innervationsmechanismus entsprechen.

2. Faszie der Dorsalseite.

Faszie und Muskeln stehen an Vorderarm und Hand in besonders auffälliger und gut nachweisbarer Wechselbeziehung.

Den früher erörterten Prinzipien gemäß entspricht jedes Faser-system einer Faszie einer bestimmten, adäquaten Zugeinwirkung. Wo es sich nicht, wie bei Sehnenfasern um einen direkten Muskelzug handelt, sondern um seitlich wirkende Nebenkomponenten, wie bei den Arcus tendinei, oder um Anspannung zwischen direkt auseinandergehenden Anheftungspunkten, müssen Anheftungsstellen, die festen Rückhalt gewähren, an beiden Enden der Faserung gesucht werden. Erfolgt die Anspannung durch Seitendruck der Unterlage, so ist ein doppelter Rückhalt am Skelett nur dann nicht notwendig, wenn die Faserung, rings um den sich verdickenden Teil herumgehend, sich in sich selbst zusammenschließt. Bei der Entwicklung der Faszie werden diejenigen Linien der Gewebsanlage am meisten verstärkt, welche im Verhältnis zu ihrer Länge zwischen den Anheftungspunkten am meisten gedehnt, welche also am stärksten (innerhalb der jeweiligen Festigkeitsgrenzen) gespannt werden. Das Prinzip einer hyperkompensatorischen Verstärkung (W. Roux) erklärt, daß bei linearer, flächenhafter oder dreidimensionaler Zugbeanspruchung 1, 2 oder 3 Faserrichtungen allein zur Ausbildung gelangen. (Vergl. die Bemerkungen im 3. Bd. d. Lb. S. 22 u. ff.).

Die vom Oberarm her über die Ellbogengegend zum Vorderarm weiterziehende Faszie geht an den Seitenbändern des Gelenkes, den Epikondylen und oberhalb derselben (durch die Ligg. intermuscularia) festere Verbindungen mit dem Skelett ein. Ferner heftet sie sich am Olekranon und an der ganzen hinteren, von Muskeln nicht bedeckten Kante der Ulna an, während sie den Radius zunächst freiläßt. Erst näher dem Handgelenk ist eine festere Anheftung an dem letzteren möglich. An der Ellenbeuge geht sie in ziemlich kräftiger Entwicklung vor den radialen dorsalen Muskeln vorbei und hält sie zurück, wenn sie sich bei gebeugtem Gelenk stärker spannen und nach der Beugeseite vordrängen. Die Faszie der Dorsalseite des Vorderarmes hängt oben über den Muskeln der radialen Gruppe mit der Faszie der Beugeseite des Ellbogengelenkes zusammen, ohne daß hier ein stärkerer Tiefenpfeiler zum Radius geht. Weiter unten spannt sie sich von der Hinterkante der Ulna zum abulnaren Rand des Radius hinüber. Zwischen den radialen Muskeln und denjenigen der ulnaren Gruppe sowie zwischen den einzelnen Muskelbäuchen der letzteren heftet sie sich in Form von Ligg. intermuscularia am Skelett fest. An diesen sowie an der oberflächlichen dorsalen Faszie nehmen Fleischfasern der genannten Muskeln ihren Ursprung. Demgemäß dient die Faszie hier zugleich als Ursprungssehne und hat eine ausgesprochene Längsfaserung beigemischt. Weiter distal, wo die Faszie sich am Vorderarmskelett anheftet, während die Muskeln dem letzteren gegenüber immer größere Exkursionen machen, sondern sich die Muskeln naturgemäß immer besser sowohl von der Faszie als gegenüber dem Skelett, und im Bereich des Handgelenkes, wo ausgiebige gleitende Verschiebung der Sehnen am Skelett

und an der Faszie mit ihren Tiefenpfeilern stattfindet, zugleich mit An pressung an diese Teile, kommt es zur völligen Abspaltung.

Die dorsale Faszie läßt sich über das Handgelenk bis auf der Handrücken und zu den Fingern verfolgen. Sie ist am Handgelenk entsprechend dem Bestreben der Sehnen, sich bei der Dorsalbeugung von der Unterlage abzuheben und auch nach der radialen oder ulnaren Seite hin zu schieben, verstärkt und sendet zwischen den Sehnen wo Platz ist, starke Pfeiler zum Skelett. Der ganze Verstärkungsapparat wird als Ligamentum carpi dorsale bezeichnet. Weiter distal an dem Handrücken wo eine Tendenz zum Abrücken der Sehnen von der Unterlage nicht mehr in gleichem Maße vorhanden ist, verdünnt sich die Faszie und verschmilzt schließlich mit den Sehnen und mit dem Skelett.

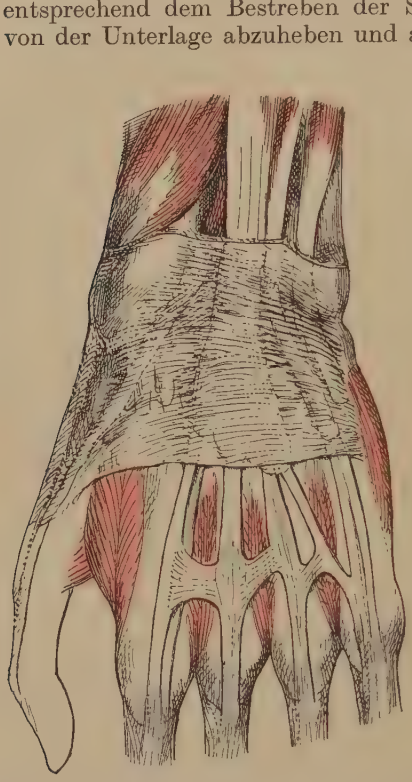


Fig. 71. Sehnenscheiden an der Dorsalseite des Handgelenkes. Frei nach Jössel.

Es ist verständlich, daß sich die bindegewebige Bedeckung der Sehnen an der Dorsalseite der Handgelenkgegend bei der Dorsalbeugung in denjenigen Substanzlinien stärker spannt, welche den kürzesten Verlauf über den am meisten von der Unterlage sich abhebenden Sehnen stellen und jenseits derselben die nächste und auch festeste Anheftung am Skelett haben, und daß diese Linien am meisten verstärkt werden. Wie zu erwarten, verlaufen die Verstärkungsfasern annähernd quer über die Sehnen. Es ist aber auffällig, daß sich die vom Radius entspringenden Fasern nur in unbedeutendem Maße an die Ulna, vielmehr der Hauptsache nach wieder am Radius und dann auch ulnarerseits an der Handwurzel festheften. Es möchte dies seinen Grund darin haben, daß die Ulna wegen der Pronation und Supination überhaupt keinen festen Rückhalt gewährt, und daß speziell mit der Dorsalbeugung der Hand in der Regel Supination (Annäherung zwischen Radius und Ulna an der Dorsalseite) kombiniert ist, wodurch die dorsalen Querfasern zwischen Radius und Ulna entspannt werden müssen.

Dorsale Sehnenscheiden der Handwurzelgegend.

Unter dem dorsalen Handwurzelband, zwischen seinen Anheftungen
n der Unterlage finden sich Kanäle oder Logen, in welchen die Sehnen
nter Anpressung an die osteofibrösen Wandungen hin- und hergleiten.
aß es hier zur Abspaltung kommt, ist selbstverständlich. Zarte Ab-
hlußmembranen trennen jenseits der festen Kanalwände die Spalten

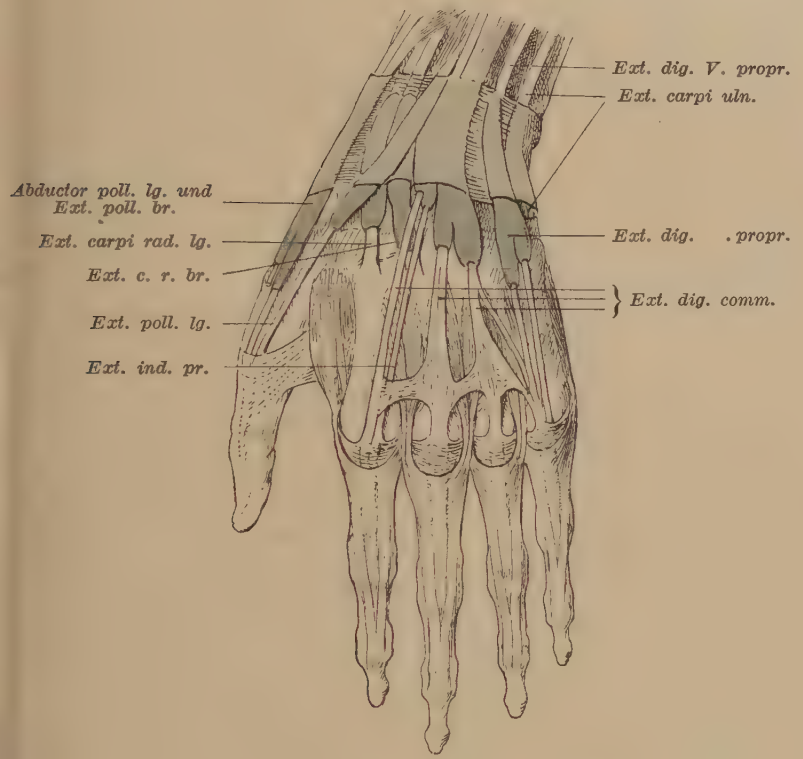


Fig. 72. Das Ligamentum carpi dorsale.

on dem lockeren Gewebe. Je größer die Exkursion der Sehne ist,
esto länger muß die ein- und ausziehbare Abschlußmembran sein.
avon und von der Ausdehnung des osteofibrösen Kanales hängt es
b, wie weit sich bei maximal volarwärts bewegter Hand und volarwärts
ngekrümmten Fingern die Sehnenscheiden distalwärts erstrecken.

So gebildete Sehnenscheiden gibt es an der Dorsalseite der Handwurzel-
gend 7, nämlich 1 für die Sehne des Abductor poll. lg. und den Extensor poll.
. am abulnaren volaren Längsrand des unteren Radiusendes, je 1 an den Sehnen
r Extensores carpi rad., 1 an der Sehne des Extensor pollicis brevis, die sich mit
n vorigen am Radiusende kreuzt (meist kommunizieren hier alle 3 Spalten mit-

einander), ferner 1 Sehnenscheide für den Indicator und den Extensor digit. communis, 1 für den Extensor digit. minimi und 1 für den Extensor carpi ulnari. Wenn die oben genannte Kommunikation vorhanden ist, so können 5 statt Sehnenscheidenspalten gezählt werden.

γ) Muskeln und Faszie der Volarseite.

1. Die kurzen Muskeln der Handstrahlen.

Ein Einblick in die Bewegungsmöglichkeiten der Skelettstrahlen der Hand ist schon aus der Beobachtung des Lebenden zu gewinnen. Alle Gelenke der Strahlen dienen vor allem der aktiven oder passiven terminalen Randdurchbiegung der Hand, welche die Strahlen einzeln oder gemeinschaftlich treffen kann.

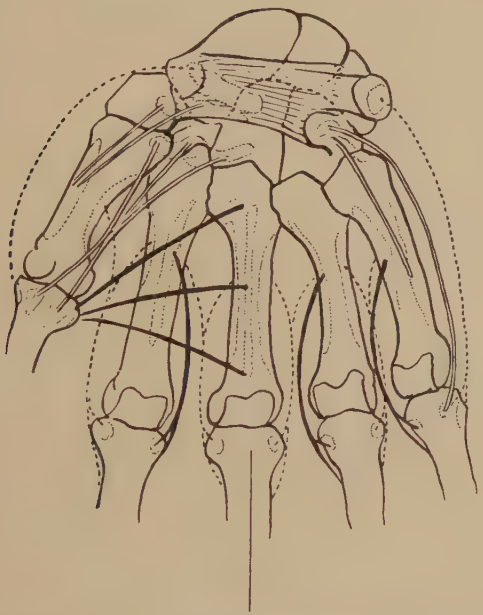
Die Möglichkeit der dorsalen und volaren Bewegung ist in sämtlichen Gelenken gegeben. An den Interphalangealgelenken ist in der Regel Volarbewegung möglich höchstens bis zur rechtwinkligen Beugung, an den ersten Interphalangealgelenken der langen Finger geht sie noch etwas weiter.

Die Dorsalbewegung geht in den Interphalangealgelenken im allgemeinen nur bis zur Streckstellung und nur bei sehr biegsamen Fingern und namentlich an den Endgelenken kann sie noch etwas weiter getrieben werden. An dem Metacarpophalangealgelenk des Daumens ist Volarbewegung nicht bis zur rechtwinkligen Abknickung ausführbar, die Dorsalbewegung geht ferner in der Regel nicht viel über die Streckstellung hinaus, wogegen an den übrigen Metacarpophalangealgelenken, insbesondere bei Dorsalstellung des Handgelenkes eine mehr oder weniger deutliche Dorsalabbiegung erreicht werden kann. An den basalen Carpo-Metakarpalgelenken ist die dorsal- volare Verschiebungs- und Umstellungsmöglichkeit am dritten Strahl gering. Sie nimmt nach den Randstrahlen hin zu und ist am fünften Strahl nicht unbeträchtlich. Ganz besonders ausgiebig ist sie am Daumenstrahl. Dadurch können die Randteile der Mittelhand nach der Volarseite und gegeneinander zugedreht werden. Der Handteller wird dadurch rinnenförmig und die Hand absolut verschmälert. Man kann die betreffende Bewegung der Randstrahlen resp. Randmetacarpalia als Opposition bezeichnen, ihre Rückführung in die gleiche Ebene mit den übrigen Metacarpalia als Reposition.

Neben der Dorsal- und Volarbewegung ist nun aber an den Strahlen auch noch die Möglichkeit seitlicher Bewegung und Durchbiegung gegeben.

Die Möglichkeit seitlicher Bewegung der Strahlen ist in den basalen Gelenken (Carpo-Metakarpalgelenken) im allgemeinen gering und für das 3. Metacarpale so gut wie 0. Dadurch wird letzteres in seiner starren Verbindung mit der zweiten Handwurzelreihe zum festen Mittelbalken oder Grundstrahl, zu dem die Muskeln der Strahlen eine gewisse Symmetrie der Anordnung zeigen (s. u.). Dies rechtfertigt den Gebrauch, die seitlichen Bewegungen der Handstrahlen

uf das 3. Metacarpale resp. die Mittellinie des 3. Fingers zu beziehen nd als Adduktion oder Abduktion zu bezeichnen. Jede Annäherung n die jeweilige Mittellinie des 3. Strahles ist eine Adduktion, jede Be- egung von derselben weg eine Abduktion. Die beiden Muskeln, welche en Grundstrahl selbst bewegen, gelten nach dieser Übereinkunft als bduktoren. Eine nur geringe Seitenbewegung (Ab- und Adduktion) egenüber dem 3. Strahl ist am basalen Gelenk des 2. und 5. Metacarpale öglich, eine nur wenig größere am Carpo-Metakarpalgelenk des 5. trahles. Im Vergleich hierzu ist der Umfang der möglichen Abduktion nd Adduktion (gegenüber dem benachbarten 2. Metacarpale) im Carpo-



ig. 73. Kurze Muskeln der Handstrahlen, schematisch. Die Abductores sind urch unterbrochene, die Adductores durch dicke schwarze Linien, die marginalen intermediären Muskeln durch Doppellinien dargestellt.

letakarpalgelenk des Daumenstrahles ganz erheblich (20—30°). Dafür st im Metacarpophalangealgelenk die mögliche Seitenbewegung gering, ährend an den 4 ulnaren Handstrahlen die Seitenbewegung haupt- ächlich in den Metacarpophalangealgelenken stattfindet. Sie ist in iesen Gelenken am ausgiebigsten am 5. Finger (60°, von einer Extrem- tellung in die andere am 2. Finger beträgt sie 50, am 3. 40 und am . 30°). Diese Zahlen sind ganz approximativ und entsprechen einer land von mittlerer „Gelenkigkeit". Klavierspieler, die weit über eine Oktave spannen, haben natürlich ein besser ausgebildetes Spreizvermögen er Handstrahlen.

Entsprechend der Übereinstimmung in der Gliederung des Skeletts zeigt die tiefe Muskulatur der Hohlhand manche Übereinstimmung mit derjenigen der Fußsohle. Hier wie dort besteht die eigentümliche Symmetrie der Anordnung zu einem mittleren, unbeweglichsten Strahl, nur ist es an dem Fuß der zweite, an der Hand der dritte Strahl. Hier wie dort aber liegt dieser Strahl im tiefsten Grund der vom Skelett gebildeten Längsrinne. Die Muskeln, welche die Strahlen einander nähern, müssen naturgemäß proximalerseits eng zusammengedrängt sein und distalwärts auseinanderweichen; dies ist nur möglich, wenigstens für die mächtigeren Adduktoren, wenn sie wenigstens teilweise aus dem Bereich der Spatia interossea plantarwärts resp. volarwärts herausrücken. Der am meisten plantar oder volar gelegene, in der Mitte der plantaren resp. volaren Längsrinne an der Basis der Strahlen

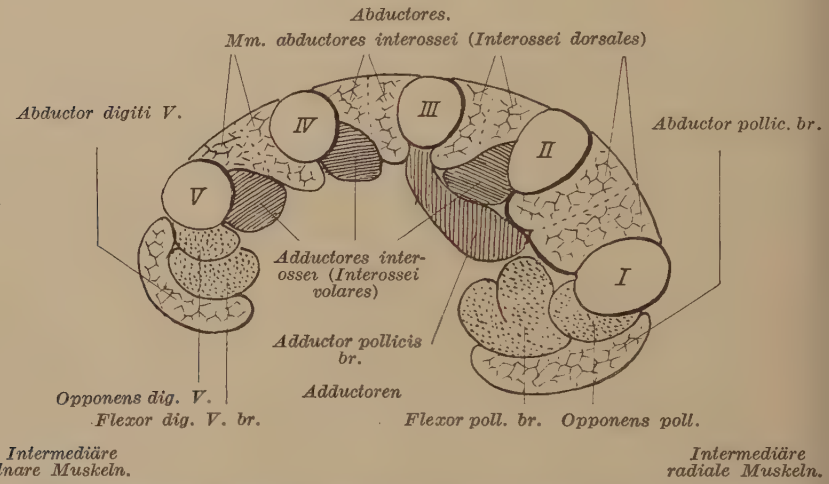


Fig. 74. Querschnitt durch die Mittelhand, schematisch. Die abduktorischen, adduktorischen und intermediären Muskeln sind unterschiedlich gekennzeichnet.

und proximalwärts davon zusammengedrängte Teil der Muskulatur liefert also naturgemäß die Adduktoren. Die an den Rändern des Fußes und der Hand gelegenen Teile und die in den Spatia interossea mehr dorsal gelegenen Abschnitte finden als Adduktoren Verwendung. Zwischen den Ab- und Adduktoren bleibt jederseits ein intermediärer Bezirk an der volaren resp. plantaren Seite der Ränder und Randstrahlen. Die hier gelegenen Muskeln sind mit Bezug auf Ab- und Adduktion gleichsam neutral, stellen aber kurze Plantar- resp. Volarbeuger der Randfinger (resp. Randzehen) dar.

Tiefe Teile dieser Randmuskulatur, die sich schon am Metacarpale ansetzen, sind in der Hand an beiden Rändern vorhanden. Sie werden als Opponentes bezeichnet. Der Opponens des Daumenstrahles ist besonders stark ausgebildet.

Der Grundstrahl, zu welchem die Muskeln einigermaßen symmetrisch angeordnet sind, an der Hand ist es der 3. Strahl, wird bezüglich der Seitenbewegung von zwei Muskeln bedient, welche proximalwärts divergieren, durch das 3. Metacarpale getrennt bleiben und dem System der Abductores zugehören. Sie liegen naturgemäß dorsal von

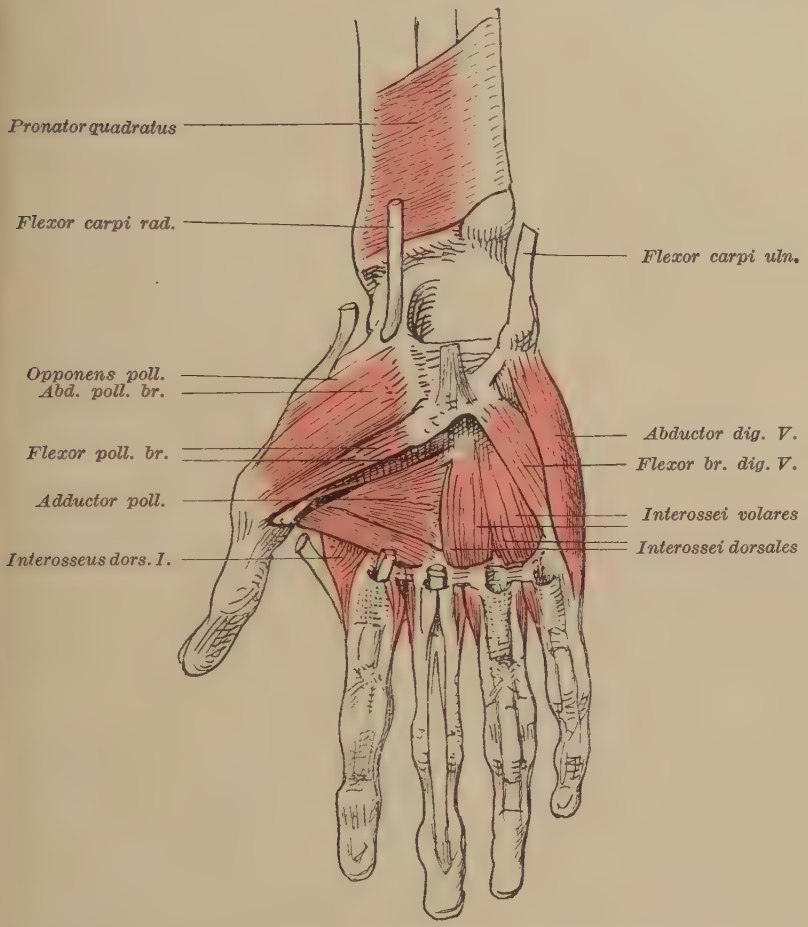


Fig. 75. Gesamtansicht der tiefen volaren Muskelpolster der Hand. Nach Toldt.

den Adduktoren des 2. und 4. Strahles, welche volar an den gegeneinander gekehrten Seiten dieses Strahles entspringen. Für alle anderen Strahlen außer dem 3. muß je 1 Abductor und 1 Adductor vorhanden sein; am 1. und 4. Spatium interosseum wird naturgemäß wieder der Adductor des 1. resp. 5. Strahles volar vom Abductor des 2. resp. 5. Strahles gelegen sein müssen. Im ganzen müssen 6 Abduktoren und 4 Adduktoren

vorhanden sein. Die 4 mittleren Abductoren sind in die Spatia interossea eingelagert, bei den Abductoren des 1. und 5. Strahles ist solches nicht der Fall, sie sind randständig zur Hand. Die 4 Adductoren finden nur teilweise in den Spatia interossea Platz; doch können die 3 ulnaren (für den 2., 4. und 5. Strahl) noch als Mm. interossei bezeichnet werden. Der mächtige Abductor des Zeigefingers füllt schon für sich das 1. Spatium interosseum. Der Adductor des Daumenstrahles ist deshalb ganz aus dem 1. Spatium interosseum volarwärts herausgerückt. Sein Ursprung greift am Carpus relativ weit proximal- und ulnarwärts und schiebt sich auch noch zwischen die 2 mittleren Adductoren ein, indem er sich an der Volarseite des 3. Metacarpale in großer Ausdehnung anheftet.

Demnach hat die Hand 6 Mm. abductorii dorsales, wovon 2 non interossei, 4 interossei sind. Von den 4 Adductores volares sind 3 interossei, 1 (Add. poll.) ist ein non interosseus. Dazu kommen 2 Mm. flexores breves und 2 Mm. opponentes.

Nebenstehende schematische Abbildung (Fig. 73) soll die besprochenen Anordnungsverhältnisse der Strahlenmuskeln erläutern.

Sämtliche Mm. interossei können gelegentlich seitlich an der Basis der 1. Phalanx inserieren, begeben sich aber in der Regel an der Seite der 1. Phalanx des von ihnen bewegten Fingers vorbei zu der Strecksehne, während die non interossei mit Einschluß der kurzen Flexoren und der Opponentes zu den Strecksehnen keine Beziehung haben. Die Opponentes inserieren an den Metacarpalia, die übrigen unter Verschmelzung mit der Kapsel des zugehörigen Metacarpophalangealgelenkes unmittelbar jenseits an der Basis der Grundphalanx. Eine oberflächliche Sehnenausstrahlung setzt sich bei diesen übrigen Muskeln nicht selten an den Seitenrand der Strecksehne des Daumens resp. 5. Fingers fort. Fast Regel ist dies bei den beiden kurzen Abduktoren.

Das Verhalten der Mm. non interossei, welche an der Grundphalanx des 1. und 5. Fingers inserieren, zur Kapsel des Grundgelenkes soll später noch genauer gewürdigt werden.

Die Fig. 75 zeigt, in welchem Umfang das Skelett der Hand von den kurzen Muskeln der Strahlen zugedeckt wird und wie die Köpfchen der Metacarpalia und die Metacarpophalangealgelenke aus dem tiefen Muskelpolster auftauchen.

2. Die tiefen volaren Muskeln des Vorderarms und ihr Verhalten in der Hohlhand. Lumbrikalmuskeln.

Der Pronator quadratus wird später (S. 321) genauer gewürdigt werden. Die 3 übrigen Muskeln sind lange Fingerbeuger.

Die 2 tiefen langen Fingerbeuger (Flexor pollicis lg. und Flexor digit. comm. lg. profundus) erstrecken sich am Vorderarm proximalwärts bis zur Linea obliqua des Radius, welche an dessen Volarseite radial- und distalwärts verläuft, und bis an den Processus coronoides der Ulna. Ihre 5 Sehnen gehen durch die volare Handwurzelrinne und auf dem tiefen Muskelpolster der Vola manus zu den 5 Metacarpo-

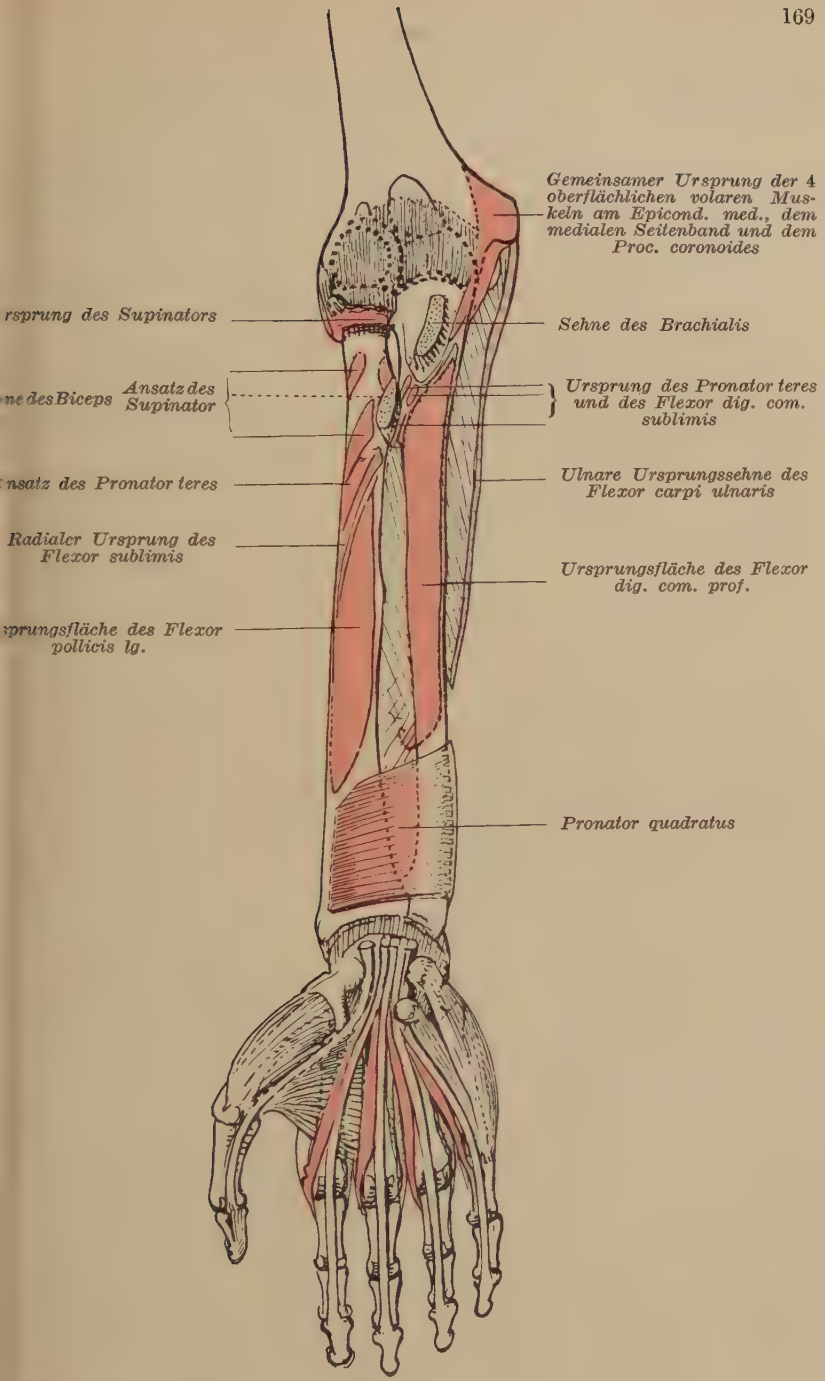

Gemeinsamer Ursprung der 4 oberflächlichen volaren Muskeln am Epicond. med., dem medialen Seitenband und dem Proc. coronoides
rsprung des Supinators
Sehne des Brachialis
ne des Biceps
Ansatz des Supinator
Ursprung des Pronator teres und des Flexor dig. com. sublimis
nsatz des Pronator teres
Ulnare Ursprungssehne des Flexor carpi ulnaris
Radialer Ursprung des Flexor sublimis
Ursprungsfläche des Flexor dig. com. prof.
sprungsfläche des Flexor pollicis lg.
Pronator quadratus

Fig. 76.

phalangealgelenken und Fingern, an deren volarer Seite sie bis zur Bas der Endphalanx gelangen.

Der Flexor digit. comm. lg. sublimis endet mit seinen 4 Sehne an den Basen der Mittelphalangen der 4 langen Finger; indem sic jede Sehne an ihrem Ende in 2 Zipfel spaltet, welche die entsprechend Sehne des tiefen gemeinsamen langen Beugers zwischen sich durc treten lassen. Der tiefe Beuger ist der Perforans, der oberflächlich der Perforatus (s. u.).

Daß die Kreuzung der beiden Sehnen des oberflächlichen und tiefen Finge beugers in der angegebenen Weise stattfinden muß, ist entwicklungsmechanis leicht zu verstehen. In der anfänglich gemeinsamen Sehnenanlage der Finge beuger kommt es unter dem Einfluß des Muskelzuges zu einer allmählichen Sond rung. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die Finger bei Anspannung d Beugemuskeln volarwärts eingekrümmt sind. Die Anspannung der oberflächliche Fingerbeuger wird sich dann durch die oberflächlichen Teile der Sehnenanla möglichst geradlinig fortsetzen und schließlich beiderseits oberflächlich an d tieferen mittleren Fasern vorbei, etwa in der Mitte der Krümmung des Finge (Basis der Mittelphalanx) das Skelett erreichen. Die tiefen Fasern aber werd durch dieses seitliche Auseinanderweichen der oberflächlichen Fasern zunäch in der Mitte zusammen- und am Strahl zurückgehalten. Jenseits der Gabel ab werden sie frei und in den Stand gesetzt, unter Richtungsänderung entlang d mittleren Phalanx bis zur Endphalanx weiter zu gehen. Wegen der verschieden Bewegungsexkursion spaltet sich die perforierende Sehne mehr oder wenig vollkommen von der perforierten Fasermasse ab.

Der Flexor digit. comm. lg. sublimis entspringt mit eine radialen Kopf von der Linea obliqua selbst und mit einem ulnaren Ko von dem vorragenden Teil des Processus coronoides (und darüber vo vorderen Teil des medialen Seitenbandes des Ellbogengelenkes bis hina zum Epicondylus medialis). Dieser Kopf ist naturgemäß vom Flex profundus volarwärts abgehoben, so daß zwischen dem oberflächliche und den tiefen Fingerbeugern ein größeres Interstitium (volarer Muske spalt des Vorderarms) entsteht, in welchen die tiefen, vom Ellboge herkommenden Gefäße und Nerven der Volarseite (N. medianus ur ulnaris, Art. ulnaris mit Venen) eingelagert sind. Zwischen dem radiale und ulnaren Kopf des Muskels entspringen Fleischfasern auch aus eine Sehnenbogen vor dem Gefäß- und Nervenbündel, welches zwischen beid Köpfen hindurch aus der Fossa cubiti in den volaren Muskelspalt ei tritt (N. medianus, Art. und Ven. ulnaris).

Die Lumbrikalmuskeln entspringen am Sehnenfächer des Flex communis prof., je einer radial an jeder Sehne. Sie treten aber nic mit diesen Sehnen in die Vagina fibrosa der Finger ein (s. u.), sonde gehen, ihr radialerseits eng angeschmiegt zur Radialseite der Grun phalanx und an ihr vorbei zur Dorsalaponeurose des betreffend Fingers. Mit ihr verbinden sich die Sehnen entsprechend der wechsel den Richtung des Zuges unter flächenhafter Ausbreitung.

Die Lumbrikalmuskeln zeigen übrigens hinsichtlich ihrer Insertion eine b trächtliche Variabilität, die von Fr. Kopsch (1898) genauer untersucht word ist. Nur 39% der Fälle folgen der oben genannten Regel. In 35,45% der Fä geht der 3. Lumbricalis gespalten zu den einander zugewendeten Seiten des und 4. Fingers usw.

Die 4 oberflächlichen volaren Muskeln des Vorderarms.

Von den 4 oberflächlichen volaren Muskeln, die am Epicondylus medialis fächerförmig auseinanderstehen (der Fl. carpi ulnaris entspringt sehnig auch weit entfernt an der Ulna) gelangt der Pronator teres zur Linea obliqua des Radius, am Ursprung des Flexor mit mm. subl. eng angeschlossen. Der Flexor carpi radialis gelangt, dem gleichen Muskel angeschlossen, zur Tuberositas des Naviculare und endet scheinbar daselbst, setzt sich aber in einem Kabel im radialen Ursprung des Lig. carpi transversum und durch die Rinne distal-ulnar der Tuberositas des Trapezius zur Basis des II. Metacarpale fort. Der Palmaris longus endet am Lig. carpi transversum, setzt sich aber teilweise oberflächlich in die Längsfaserung der Palmaraponeurose fort. Er ist bekanntlich vielen Variationen unterworfen und kann auch vollständig fehlen. Der Flex. carpi ulnaris endet am Pisiforme und hat nur eine indirekte Fortsetzung im Lig. pisohamatum und pisometacarpeum (s. u.).

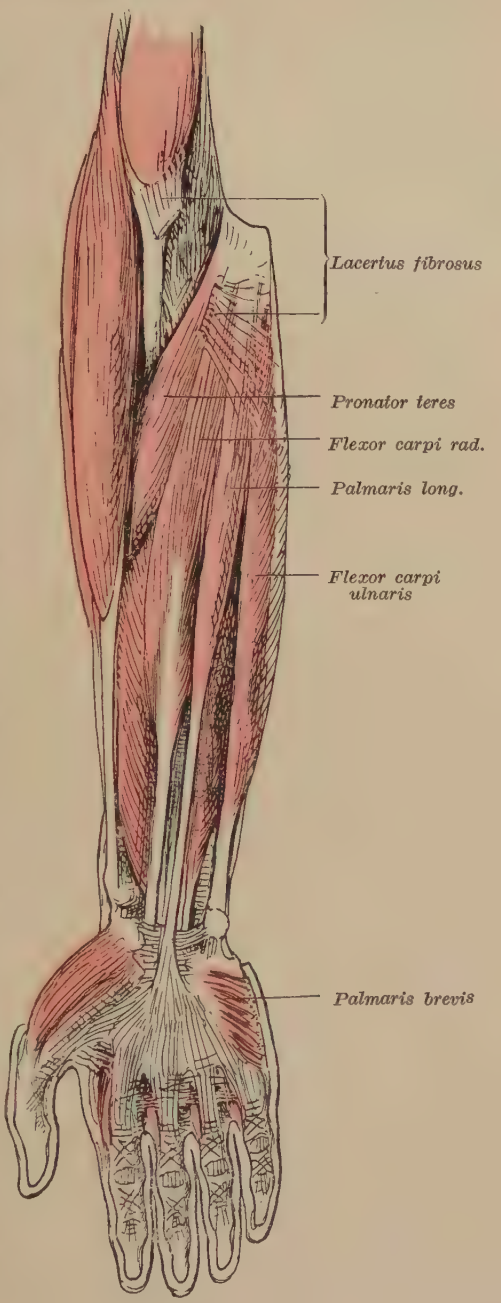


Fig. 77.

Die volare Faszie des Vorderarms und der Hand.

Nirgends bilden die Faszien einen wichtigeren Bestandteil des anatomischen Aufbaues als an der Planta pedis und der Vola manus.

Sie spielen aber auch bei den mechanischen Verhältnissen des Fuße und der Hand eine besonders wichtige Rolle. Hier wie überall sind si Dokumente für das Walten von Zugkräften. Ein näheres Eingehe auf die Anordnung und Bedeutung der Faszie erscheint deshalb gerecht fertigt.

a) Eine tiefe volare Faszie der Hohlhand bekleidet da Muskelpolster der kurzen Strahlenmuskeln. Sie heftet sich an desse Rändern an das Skelett, ferner intermediär an den Metacarpophalangeal gelenken, die zwischen den Muskeln der Strahlen volarwärts hervor treten.

Besonders verstärkt findet man sie am Ende der Intermetakarpal räume (namentlich des II.—IV.) auf den Mm. interossei, wo diese sic auf die Spatia interossea zurückziehen. Die queren Verstärkungsfaser (Ligg. capitulorum) hängen hier beiderseits vor allem mit dem ver dickten distalen Teil der volaren Kapselwand der Metacarpophalangeal gelenke (s. u.) zusammen (Anspannung bei der Spreizung der Metacarpalia) Ein dünneres Blatt deckt hier auch die Lumbrikalmuskeln. Ein dünnere Fortsetzung der tiefen Faszie folgt den nach beiden Seite zu den Fingern auseinandergehenden Muskeln des Spatium interosseum

b) Die oberflächliche volare Faszie des Vorderarms un der Hand und der M. palmaris brevis. Wie schon erwähnt is gegen das Handgelenk hin außer der Verbindung der Vorderarmfaszi mit der Ulna auch eine direkte Anheftung an den Radius möglich. Di Muskeln resp. Sehnen, welche volarerseits über das Handgelenk weg gehen, suchen sich bei der Volarbeugung von der Unterlage abzuheben Daraus ergibt sich der Zwang zur Ausbildung einer starken Faszie welche die Sehnen zurückhält. Bei gleicher Größe der Sehnenabhebung werden unter allen Querfasern der Gegend diejenigen welche die Hand wurzelrinne überbrücken und sich beiderseits an ihren Rändern an heften, weitaus am meisten gespannt. So erklärt sich die Ausbildung des Lig. carpi transversum, das seiner ganzen Natur nach ein Stück Faszie darstellt. Sein Hauptteil verbindet die Ränder der Hauptrinne an der Volarseite der Handwurzel und bildet mit ihr den volaren Handwurzelkanal. Ein schwächerer Zipfel heftet sich ulnarerseit erst am Pisiforme an und überbrückt die Nebenrinne zwischen Pisi forme und Triquetrum, in welcher der Ulnarnerv und die ulnaren Gefäß verlaufen.

Durch das genannte Band wird die Abhebung der Sehnen von de Unterlage bei der Volarbewegung im Handgelenk verhindert und auch für die weiter distalwärts liegenden Stellen unmöglich gemacht, so da die volare Handtellerfaszie jenseits derselben zunächst keine sie hindernd Faserung enthält.

Proximal, am Vorderarm dagegen ist trotz des Lig. carpi trans versum immer noch, wegen der Bewegung im Radiokarpalgelenk ein Abhebungstendenz der Fingerbeugesehnen und namentlich der 3 ober flächlichen volaren Vorderarmmuskeln, welche den Carpus erreiche (Flexor carpi rad., Palmaris lg. und Flexor carpi vol.) gegeben un deshalb wird auch hier die Faszie durch eine Querfaserung verstärk

Die **volare Vorderarmfaszie**, welche die genannten oberflächlichen uskelsehnen des Flexor carpi radialis und ulnaris bedeckt, schließt ch wesentlich an das oberflächliche Blatt des queren Handwurzel- ndes an, das die Rinne am Pisiforme überbrückt. Andererseits schließt ch auch die Faserung für die jenseits des Lig. carpi transversum gelegene rtie der volaren Handfaszie an dieses Blatt und an das Pisiforme an odurch verständlich gemacht wird, daß die Gefäße und Nerven der inne am Pisiforme proximal und distal davon unterhalb der Faszie rlaufen). Die Anheftung des Lig. carpi transversum am Triquetrum d Hamatum ist demnach eigentlich ein Tiefenpfeiler der Faszie.

Die Analyse der volaren Faszie der Hand und der Finger d der Versuch, in ihr die verschiedenen mechanischen Einflüssen tsprechenden Fasersysteme auseinanderzuhalten, ergibt folgende kon- ituierenden Elemente:

α') Fasern, welche sich bei der Volarbeugung im Handgelenk annen: das schon genannte Lig. carpi transversum.

β') Eine analoge Faserung an der Volarseite der einzelnen trahlen und Strahlengelenke, welche bei der Volarbeugung in diesen elenken durch die Abhebung der Beugesehnen vom Skelett gespannt ird (Ligamenta vaginalia).

Die einzelnen Strahlen sind erst von der Gegend der Metakarpal- öpfchen und Metacarpophalangealgelenke an vom Muskelpolster der efen Hohlhandmuskeln nicht mehr bedeckt. Von hier an verlaufen e langen Beugesehnen unmittelbar am Skelett, und zwar je eine hne eines langen tiefen Beugers bis zur Endphalanx und, wo Mittelpha- ngen vorhanden sind, an den 4 langen Fingern auch noch eine hne des gemeinsamen oberflächlichen langen Fingerbeugers. Letztere ftet sich unter Spaltung in zwei Zipfel, welche die tiefe Beugesehne wischen sich durchlassen (Perforation), an dieser Mittelphalanx an. Die olare Faszie der Finger zeigt Verhältnisse, welche im Prinzip voll- ändig mit denjenigen der plantaren Zehenfaszie übereinstimmen. Bei olarwärts eingekrümmten Fingern ist eine vollkommen geschlossene Lage on Fasern vorhanden, welche überall senkrecht zur Richtung der Sehnen ber diese hinweggehen, um sich unmittelbar zur Seite der Sehnen an ie Phalangen, an die Seitenbänder der Interphalangealgelenke und an ie Seitenränder der verdickten Partie der volaren Kapselwand der Meta- rpophalangealgelenke anzuheften. Die Ebenen der Faserbogen kon- ergieren natürlich volarwärts. Bei der Streckung klafft diese Faserlage den durch die Drehungsachsen der interphalangeal gehenden Quer- benen in einzelne schräg zugeschnittene Stücke auseinander, welche den ingerabschnitten zwischen den Drehungsachsen entsprechen (Ligg. aginalia). Indem die Fasern der beiden schrägen Endränder dieser hienenartigen Stücke teilweise ineinander sich fortsetzen, entstehen hräge Züge, welche an der Mitte der Phalangen über die Sehnen weg- hen, und öfters auch gekreuzte schräge Faserzüge. (Die schrägen üge verdanken wohl auch z. T. ihre Entstehung dem Umstand, daß die hnen bei der Beugung infolge des Reibungswiderstandes auch einen wissen Zug in der Längsrichtung an den Mitten der Ligg. vaginalia

ausüben, und daß bei der Streckung die relative Rückverschiebun der Ligg. vaginalia an den Sehnen gehemmt ist.)

An den Stellen, wo die Ligg. vaginalia auseinanderklaffen, sin dünne Abschlußmembranen des circumtendinösen Spaltraume vorhanden, welche bei der Beugung zusammengeschoben werden. Wi verweisen auf die Besprechung der Ligg. vaginalia der Zehen in 3. Bd. d. Lb. S. 184 und die dort gegebenen Abbildungen. An de Fingern liegen die Verhältnisse noch viel klarer und typischer ausge prägt als an den Zehen. Die Querfaserung ist bei den Fingern auc noch im Bereich der Metacarpophalangealgelenke, im Zusammenhan mit der verdickten volaren Kapselpartie gut ausgeprägt.

γ^1) Der zwischen dem Lig. carpi transversum und den Vagina fibrosae gelegene Teil der oberflächlichen Hohlhandfaszie ist besonder ausgezeichnet durch eine ausgesprochene Längsfaserung.

Die Hauptmasse der Längsfaserung beginnt proximal an den Rän dern des Lig. carpi transversum, und zwar nicht bloß an dem starken Tei des letzteren, der die volare Handwurzelrinne überbrückt, sondern auc an dem schwächeren Faserzug, der die Rinne zwischen Triquetrun und Pisiforme mit dem darin liegenden N. ulnaris mit den gleichnamige Gefäßen überbrückt. Nach den Fingern zu breitet sich die Fasermass zwischen dem Groß- und Kleinfingerballen gegen die 4 langen Finge hin zum Dreieck aus. Ein oberflächlicher Teil strahlt ziemlic gleichmäßig in das ganze Areal des proximal von den langen Finger gelegenen gemeinsamen Fingerballens hinein. Die tieferen Faser sondern sich schärfer, den Fingern entsprechend, in getrennte Zipfel welche die Vaginae fibrosae erreichen, sie verstärken helfen und durc sie am Skelett, namentlich an den Metacarpophalangealgelenken un Enden der Metacarpalia angeheftet sind. Beiderseits am Daumen- un Kleinfingerballen verbinden sich der erste und der fünfte Faserzipfe außerdem breit mit der Faszie des tiefen Muskelpolsters der Hand.

Indem die Längsfasern der Faszie zu beiden Seiten der mittlere Beugesehnen und an den benachbarten Seiten der langen Beuge sehnen des 1. und 5. Strahles schon proximal von der Querfaserun der Vaginae fibrosae in die Tiefe abbiegen, verlängern sie die Wan der Kanäle für die Beugesehnen und bilden an den Seiten der Sehne Kulissen mit freiem proximalwärts sehendem Rand.

Die Ansätze der Längszipfel der Faszie und der ersten Querfasern de Vaginae fibrosae hängen mit der verdickten distalen Partie der volaren Kapselwan der Metacarpophalangealgelenke, aber auch mit den daselbst angehefteten tiefe Faszien (Ligg. capitulorum) zusammen. Zwischen den Anfängen der Vagina fibrosae finden sich flache Rinnen, den Interdigitalräumen entsprechend, dere Grund von den Interossei und ihrer Faszie gebildet ist. Dem Grund seitlich en angeschlossen verlaufen die Lumbrikalmuskeln, freier in denselben liegen die z den Fingern ziehenden volaren Gefäße und Nerven, welche aus dem tiefen, unte den langen Beugesehnen gelegenen und aus dem oberflächlichen, zwischen ihne und der oberflächlichen Faszie gelegenen Interstitium dahin gelangen.

Die am Vorderarm in dem großen Muskelspalt zwischen dem oberfläch lichen und den tiefen langen Fingerbeugern gelegenen Gefäße und Nerve müssen beiderseits aus der Spalte heraustreten, wo sich die Fingerbeuger an de Handwurzel zusammenschließen. Sie gelangen durch den volaren Handwurzel

anal oder außerhalb desselben vorbei (z. B. durch die Rinne am Pisiforme) und ent-ng der Oberfläche des Daumenballens an die Seite des Doppelfächers, der aus Beuge-hnen, welche zu den langen Fingern gehen, und den Lumbrikalmuskeln gebildet ist, n dort zum Daumen- und Kleinfingerballen und in das oberflächliche und tiefe nterstitium der Hohlhand. Von hier aus führt der Weg zu den Fingern durch die patia intertendinea und die volaren Interdigitalrinnen, da sich an den Fingern lbst die Skelettstrahlen, die Sehnen der langen Beugemuskeln und die Faszie ollkommen zusammenschließen.

δ) Ein verhältnismäßig kleiner Teil der Längsfaserung der Hand-llerfaszie entspricht der Sehneneinstrahlung des M. palmaris ngus, die oberflächlich am Hauptteil des Lig. carpi transversum eschieht.

ε) Als weiteres Element der gemeinsamen oberflächlichen volaren ohlhandfaszie ist ein System von Querfasern zu nennen, welches sich it den auseinander weichenden Längszipfeln kreuzt und eine kleine trecke weit die Räume zwischen den auseinander weichenden langen eugesehnen noch zudeckt. Es handelt sich hier offenbar um Fasern, elche bei der queren Abplattung der gegen eine Unterlage angedrückten and gespannt werden.

ξ) Ferner verläuft dicht der Haut entlang am Ende des gemein-men Fingerballens und von Finger zu Finger in den Interdigitalsätteln ine oberflächliche Querfaserung, die wohl wesentlich in der Haut eginnt und endet und mit dieser unter leicht ersichtlichen Bedingungen espannt wird.

Haut und subkutanes Gewebe sind bekanntlich an der Volar-ite der Finger, an dem gemeinsamen Fingerballen des Handtellers roximal von den langen Fingern und auch am Kleinfingerballen, weniger m Daumenballen verdickt. Hier überall strahlt die Faszie gegen die aut aus und bildet sich ein in bestimmter Weise architektonisch an-eordnetes Faserwerk, in dessen Lücken Fettgewebe eingelagert ist. ach der Haut zu wird im allgemeinen das Faserwerk feiner und zier-icher. Das Polster ist am Kleinfingerballen besonders hoch. Seine asis ist gleichsam an Stelle einer faserigen Ausstrahlung zwischen reich-ichem Fettgewebe vom M. palmaris brevis durchsetzt, der näher er Mittellinie der Hohlhand an der Palmarfaszie entspringt und am lnarrand an der bezeichneten Stelle in der Haut endet. Es unterliegt einem Zweifel, daß die Kontraktion des Muskels einen ähnlichen Effekt at wie das Steppen einer Matratze oder eines Kissens; das suprafasziale olster am Kleinfingerballen wird durch die Verschmälerung seiner asis stärker nach der Vola vorgewölbt und fester gemacht, so daß es eim Greifen oder beim Aufpressen der Hand an eine Unterlage größeren ruckwiderstand leistet. Es ist der Beachtung wert, daß wir mit der räftigen Aktion der übrigen Greifmuskeln auch den Palmaris brevis nwillkürlich zur Kontraktion bringen.

Die Faserausstrahlungen aus der Faszie gegen die Haut haben ber nicht bloß die Bedeutung, ein druckfestes Polster herzustellen. ie hindern auch die Abscherung zwischen Haut und Unterlage. Die aserung des Hauptteiles der Faszie, namentlich die longitudinale

Faserung, wird erst bei Berücksichtigung dieser Beziehung vollständig verstanden.

Die Faserausstrahlung aus der Palmarfaszie in die Haut hinder die Haut, sich gegenüber dem unterliegenden Skelett zu verschieben und umgekehrt. Das Proximalwärtsausgleiten des Handskelettes ent lang der Haut, wenn sie durch Reibungswiderstand an der äußeren Unterlage festgehalten ist, wird verhindert durch Faserzüge, welche proxi mal an der Handwurzel entspringen und distalwärts in die Haut über gehen. Ein großer Teil der Längsfaserung der Faszie vermittelt au diese Weise offenbar den mechanischen Zusammenhang, indem er i der Gegend des gemeinsamen Fingerballens zur Haut abstrahlt. Neben distalwärts zur Haut gehenden Fasern sind auch seitlich schräg gerichtete und sogar proximalwärts gerichtete Fasern vorhanden.

Immerhin wird die Längs- und (Quer-) Faserung der Palmarfaszie nicht ausschließlich nur in dieser Weise in Anspruch genommen. Sie wirkt auch der Auseinanderpressung der unter ihr gelegenen Weichteile beim Aufstützen der Hand entgegen und schützt namentlich die longi tudinale Wölbung des Skelettes der Handplatte vor wirklicher Abplattung Hier muß es sich um Spannungen handeln in Fasern, welche am Skelet beginnen und enden.

δ) Die Sehnenscheiden der Hohlhand.

Im volaren Handwurzelkanal ebensowohl wie in den osteofibrösen von den Strahlen und den Ligg. vaginalia gebildeten Kanälen gleiten die langen Beugesehnen, indem sie abwechselnd der einen oder anderen Wand angepreßt werden, über bedeutende Strecken hin und her. E müssen hier circumtendinöse Spalten vorhanden sein. Wo die fest Wand der osteofibrösen Kanäle an den Enden oder an intermediären Fenstern aufhört, enden auch ungefähr diese Spalten im weichen Gewebe das die Sehnen umgibt. Letzteres bildet hier dünne Abschlußmembranen welche die Fenster in der Wand des osteofibrösen Kanals überbrücken resp. die proximalen Ränder desselben mit der Sehne verbinden.

Im volaren Handwurzelkanal pressen sich die Sehnen, indem si sich verschieben, abwechselnd gegen sämtliche Teile der Wand. Be sonders eng zusammengedrängt werden sie bei der Radial- und Ulnar bewegung der Hand. Es ist auch die Exkursion an der radialen und ulnaren Seite des Kanals am größten. Aus beiden Gründen finden wi die Sehnen radialer- und ulnarerseits von der Wand abgespalten, während sie unter sich und mit der Mitte der dorsalen und volaren Kanalwand durch weiches Gewebe verbunden bleiben. Die ulnare Spalte entspricht im wesentlichen den gemeinsamen Fingerbeugern, die radiale der Sehn des Flexor pollicis longus. Die proximalen Abschlußmembranen beide Spalten werden namentlich bei der Volarbeugung der Hand und de Finger ziemlich weit in den Vorderarm hineingezogen. Die distale Abschlußmembranen erreichen nicht die proximalen Abschlußmembrane der Spalten, welche an den Mittelfingern die langen Sehnen umgeben

n Daumen- und Kleinfingerballen aber liegen die langen Sehnen zum aumen und Kleinfinger der ganzen Länge nach auf, so daß sich hier e Abspaltung ohne Unterbrechung vom Handwurzelkanal bis in die

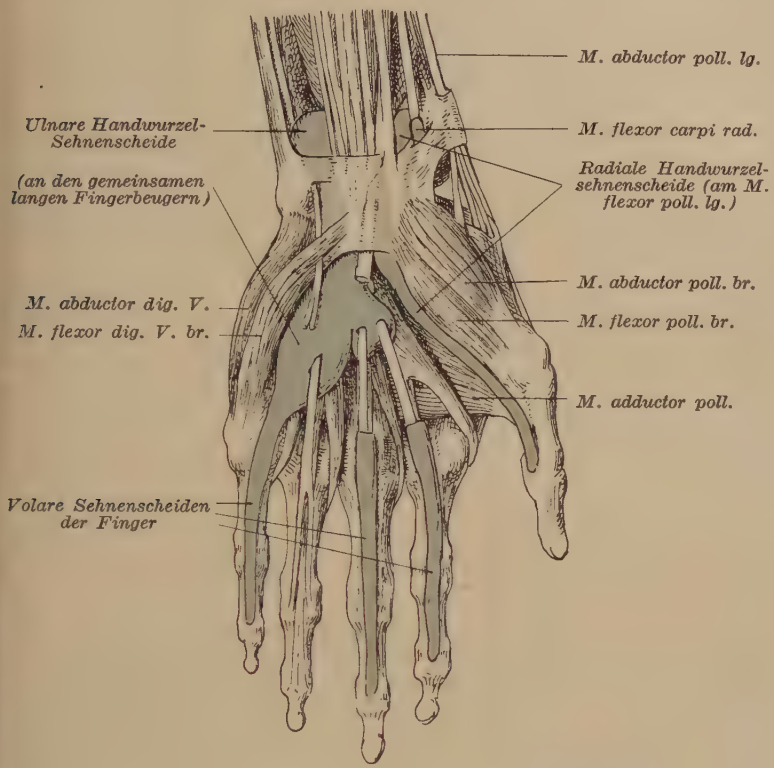


Fig. 78. Sehnenscheiden der Vola. Frei nach Jössel.

agina fibrosa fortsetzt und die distalen Abschlußmembranen der Hand-urzelspalten mit den proximalen der Fingersehnenscheiden zusammen-ängen.

ε) Einige Bemerkungen zur Präparation der Hand.

Ein vollkommener Einblick in den verwickelten Bau der Hand, wie er für as Verständnis der mechanischen Verhältnisse notwendig ist, läßt sich wohl nur urch die Präparation gewinnen. Der Erfolg der Arbeit ist aber hier ganz be-onders von der Art des Vorgehens abhängig. Ich erlaube mir deshalb. einige auf ngjähriger Erfahrung beruhende Winke nach dieser Richtung zu geben.

Die dorsale Seite des Vorderarms und der Hand mit den Fingern wird am esten im Zusammenhang präpariert, wobei die Verhältnisse der dorsalen Faszie, ie Sehnenscheiden usw. eingehend zu berücksichtigen sind.

Die vorausgehende oder nachfolgende Präparation der Volarseite des Vorderarms erstreckt sich bis unmittelbar an das Handgelenk und das Lig. carpi transversum. Der Anschluß der volaren Vorderarmfaszie an die Hand ist genau zu untersuchen. Bei der Darstellung der volaren Muskeln unmittelbar proximal von dem Handwurzelkanal sind die proximalen Abschlußmembranen der Sehnenscheiden des Handwurzelkanals sorgfältig zu schonen und zu reinigen.

Die Präparation der Vola manus erscheint öfters durch das Zusammengekrümmtsein der Finger erschwert. Hier hilft oft eine starke Volarbeugung des Handgelenkes. Der Vorderarm wird senkrecht gestellt und in dieser Stellung irgendwie befestigt, die Hand in rechtwinkliger Volarbeugung mit dem Rücken auf den Tisch gelegt. Gelingt dies nicht oder hilft es nicht genügend, so bleibt freilich nichts anderes übrig, als die langen Fingerbeuger am Vorderarm durchzuschneiden. Die derbe Haut des Handtellers und der Finger kann oft nur mit großer Mühe in Form breiter Lappen abgetrennt werden. Es ist einfacher, ihre oberste Schicht mit scharfem Messer streifenweise abzulösen. Am ulnaren Rand des Kleinfingerballens wird der Insertionsstelle des Palmaris brevis entsprechend ein Hautstreifen stehen gelassen. Präparation des Palmaris brevis; Präparation der oberflächlichen Tangentialfaserung der Faszie in den Interdigitalsätteln und am gemeinsamen Fingerballen. Beachtung der gegen die Haut ausstrahlenden Faserung der Palmarfaszie.

Nach Entfernung dieser Ausstrahlung und des von ihr durchsetzten Polsters: Darstellung des Hauptteiles der oberflächlichen Palmarfaszie und im Zusammenhang damit der Vaginae fibrosae: Einstrahlung des Palmaris longus; Längsfaserung der Faszie; Längszipfel derselben; durchkreuzende Querfaserung; Brücke über der Rinne am Pisiforme; Entfernung derselben und des M. palmaris brevis, Hauptteil des Lig. carpi transversum; Faszienbedeckung der Muskulatur des Daumens und Kleinfingerballens, Darstellung der interdigitalen Lücken der Faszie. Ausräumung der volaren interdigitalen Rinnen oder Logen, unter Erhaltung der Lumbrikalmuskeln; sorgfältige Präparation der letzteren in den Logen und bis zu ihrem Ansatz an der dorsalen Strecksehne; Säuberung und Studium der Vaginae fibrosae, ihrer dünnen Teile an den Gelenken und ihrer Ligg. vaginalia. Verbindung mit den Längsfaserzipfeln der gemeinsamen Palmarfaszie.

Tiefe Faszie (Ligg. capitulorum) am Grund der Logen.

Man durchschneide nun den mittleren Teil der gemeinsamen oberflächlichen Palmarfaszie und schlitze die Endzipfel bis zu dieser Stelle hin vollständig voneinander. Indem man diese Zipfel abhebt (aber nicht wegschneidet) und distalwärts umklappt, läßt sich der Zusammenhang derselben mit den Vaginae fibrosae und lassen sich die freien kulissenartigen seitlichen Ränder der letzteren genau verfolgen. Säuberung der am proximalen Ende in die Vaginae fibrosae eintretenden Sehnen unter Schonung der dünnen Abschlußmembranen. Ausräumung des subfaszialen Interstitiums bis zu den Beugesehnen, Lumbrikalmuskeln und den distalen Abschlußmembranen der Sehnenscheiden des volaren Handwurzelkanales. Man muß schließlich a) um jeden Lumbrikalmuskel, b) um die zu den mittleren Fingern gehenden Sehnenpaare ringsherum kommen und erkennt die Wege, auf denen die Gefäße und Nerven zum tiefen und oberflächlichen Interstitium und zu den volaren interdigitalen Logen gelangen.

Entfernung des proximalen Teiles der über den Beugesehnen gelegenen Palmarfaszie und des Lig. carpi transversum; Abschlußmembranen der Handwurzelsehnenscheiden. Zusammenhänge mit den Fingersehnenscheiden: Eröffnung der Handwurzelsehnenscheiden. Präparation und Isolierung der oberflächlichen langen Beugesehnen in diesem Gebiet; Präparation der tiefen langer Beuger und des Ursprunges der Lumbrikalmuskeln. Ausräumen des tiefen Interstitiums unter den langen Beugesehnen.

Eröffnung der Vaginae fibrosae. Verfolg der langen Sehnen bis zur Insertionsstelle. Vincula tendinum. Boden des osteofibrösen Kanals. Durchschneidung der Lumbrikalmuskeln. Entfernung der langen Beugesehnen vom Vorderarm bis nahe zur Anheftungsstelle. Präparation der kurzen Muskeln der Strahlen. Studium der Muskelwirkung an den Strahlengelenken. Schlußpräration der Strahlengelenke. Präparation und Studium der Gelenke an der Handwurzel.

C. Gelenke und Bewegungen der Handstrahlen.

α) Die Interphalangealgelenke.

An den Interphalangealgelenken wie an den Metacarpophalangealgelenken sämtlicher Finger liegt die Trennungsspalte zwischen Köpfchen und Pfanne nicht in der Querebene der stärkeren dorsalen Vorragung oder der volaren Knickungsfurche der Haut — diese Querebene entspricht der Drehungsachse — sondern distalwärts davon. Man kann den Rand derselben am besten durchfühlen zu beiden Seiten der dorsalen Strecksehne. Diese Kenntnis ist für den Chirurgen von Wichtigkeit.

Fig. 79. Mittlerer dorsovolarer Längsschnitt durch die Hand (3. Strahl). Nach Toldt.

Sämtliche Interphalangeal-Gelenke der Finger sind einachsige Gelenke und repräsentieren den reinen Ginglymustypus. Sie erlauben Dorsal- und Volarbewegung um eine von einer Seite zur anderen durch den proximalen Gelenkkörper gehende Achse, die Dorsalbewegung bis zur Streckung (an der letzten Phalanx unter Umständen auch noch etwas weiter), die Volarbewegung bis zur rechtwinkligen Beugung (im ersten Interphalangealgelenk etwas weiter, im zweiten etwas weniger weit). Die proximale Phalanx bildet den konvexen Gelenkkörper (Köpfchen), mit zylindrischer, von der dorsalen zur volaren Seite gekrümmter, leicht rollenartig gehöhlter Gelenkfläche. Die distale Phalanx bildet die Pfanne; sie ist weniger stark gekrümmt und in dorsovolarer Richtung bedeutend weniger weit ausgedehnt als die Endgelenkfläche des Köpfchens. Die Gelenkkapsel greift am Köpfchen dorsal und volar über die Gelenkfläche weiter proximalwärts als an den Seiten, wo ja ihre verstärkten Teile, die Seitenbänder sich da ansetzen, wo die Gelenkachse die Knochenoberfläche schneidet. Die Seitenbänder sind in allen Stellungen gespannt und verhindern in allen Stellungen die seitliche Bewegung und die Längsrotation. Die Sehnen sind auf die volare und die dorsale Seite lokalisiert. An den Endgelenken sind sie jederseits einfach, mit der Kapsel verwachsen, unter Freilassung eines proximalen Streifens, der sich bei der Bewegung nach der betreffenden Seite hin faltet. Die volare Kapselwand ist im distalen Teil verdickt.

Am vorletzten Gelenk gleitet die zur Endphalanx ziehende Sehne des Perforator hin und her. Der von ihr abgetrennte Endteil der volaren Kapsel ist zu einer faserknorpligen Platte verdickt. Jenseits derselben heften sich beiderseits an der Basis der zweiten Phalanx die Zipfel der Perforatussehne an.

Über das unterschiedliche Verhalten der Strecksehne am letzten und vorletzten Gelenk siehe unsere Bemerkungen auf S. 158.

Das Interphalangealgelenk des Daumens ist von den zweiten Interphalangealgelenken der langen Finger nicht wesentlich verschieden. Bezüglich der zur zweiten Daumenphalanx gehenden Strecksehne des Extensor poll. long. ist zu beachten, daß sie nicht rein dorsal wie die Sehne des Extensor brevis über das Gelenk wegzieht, sondern etwas nach der ulnaren Seite verschoben ist, so daß sie die unmittelbar jenseits des Gelenkes an der Basis der ersten Phalanx angeheftete Sehne dieses letzteren Muskels nur teilweise deckt und mit ihr meist eine zu einem Nebenzipfel ausgezogene Verbindung eingeht. Im übrigen ist sie gegenüber der Gelenkkapsel des Metacarpophalangealgelenkes und weiterhin gegenüber dem Rücken der ersten Phalanx verschieblich. Dabei sind die zur Endphalanx weiterziehenden Fasern von den an der Grundphalanx sich ansetzenden meist nur undeutlich geschieden.

In seltenen Fällen findet man in der volaren Fasermasse des Endgelenkes des Daumens, ja auch des Zeigefingers oder kleinen Fingers ein Sesambein eingeschaltet (Barkow, Syndesmologie, Pfitzner 1892). Bezüglich dieser und anderer anatomischer Einzelheiten der Fingergelenke sei auf R. Fick (Handb. I) verwiesen.

β) Das Daumen-Metacarpophalangealgelenk.

Das Daumen-Metacarpophalangealgelenk zeigt einige Besonderheiten. Es bildet gewissermaßen einen Übergang zwischen dem Typus der Ginglymo-Arthrodie, der in den vier anderen Metacarpophalangealgelenken vertreten ist, und dem Typus des reinen Ginglymus, wie er sich in den Interphalangealgelenken der langen Finger zeigt. Die Dorsalbewegung geht im allgemeinen nicht so weit wie bei den langen Fingern, öfters nicht über die Streckbewegung hinaus, während allerdings manche Menschen, namentlich bei ulnar- und volarwärts gebeugter Hand den Daumen aktiv oder passiv weit dorsalwärts zurückbiegen können. Daneben sind geringe Seitenbewegungen möglich, bei volargebeugtem Daumenmetacarpale sind sie auch hier weniger ausgiebig als bei gestrecktem Daumen. Indessen sind sie auch in der Streckstellung nicht sehr umfangreich, da hier die Ab- und Adduktion des Metacarpale im Carpo-Metakarpalgelenk eine größere Rolle spielt. Ganz deutlich verbindet sich mit der Adduktion in diesem Gelenk eine supinatorische und mit der Abduktion eine pronatorische Längsrotation der Grundphalanx, was schon Duchenne konstatiert hat (s. unter Daumenmuskeln).

Die eigentlichen Kollateralbänder sind nicht immer besonders scharf ausgeprägt. Sie entspringen annähernd an der Mitte der Seiten-

ächen des Metakarpalköpfchens, nur wenig exzentrisch nach der Dorsalseite hin. Die akzessorischen Seitenbänder sind stark entwickelt.

Ein radialer Kopf des Flexor poll. br. ist nicht immer scharf von einem ulnaren Kopf getrennt. Wo es der Fall ist, vereinigt sich der radiale Kopf mit dem Abductor brevis, der ulnare mit dem Adductor pollicis. Erstere beide gehen dann zum radialen Teil der Volarplatte, welcher das radiale Sesambein enthält, letztere beide zum ulnaren Teil und ulnaren Sesambein.

Die Metacarpophalangealgelenke der langen Finger.

1. Die Gelenkkörper.

Die Metacarpalia verdicken sich von der dünnsten Stelle des Mittelstückes aus nach dem distalen Ende hin allmählich, zuletzt aber in plötzlicher Ausladung namentlich nach der volaren Seite hin (Köpfchen). Die geringere seitliche Verdickung bricht in dem etwas dorsal an der Seite des Köpfchens gelegenen Tuberculum plötzlich ab. Zwischen den Tubercula und den Seitenrändern der Endgelenkfläche findet sich ein rundlicher, dreieckiger oder halbmondförmiger Eindruck, durch welchen das Köpfchen von beiden Seiten abgeplattet erscheint; doch verbreitert sich der hierdurch und durch die dorso-volarwärts gerundete Endfläche einigermaßen zylindrisch begrenzte Gelenkkörper nach der Volarseite hin. Volarerseits treten Seitenkanten mehr oder weniger deutlich hervor. Die Endgelenkfläche zeigt eine distalwärts gerichtete dorso-volare Konvexität. Eine solche besteht auch von einer Seite zur anderen, namentlich an den dorsalen und zunächst anschließenden mittleren Teilen der Gelenkfläche.

Diese radioulnare Krümmung ist besonders deutlich am II. und V. Metacarpale ausgeprägt. Der volare Teil der Endgelenkfläche ist manchmal durch eine Art First vom übrigen Teil abgesetzt, indem in seinem ganzen Bereich die dorsovolare Krümmung eine geringere ist als im dorsalen und mittleren Teil; auch der Quere nach erscheint er flacher; offenbar gleitet an ihm hauptsächlich die verdickte Partie der volaren Kapselwand. Oft treten an ihm auch mehr oder weniger deutlich zwei Längsfacetten auf, welche durch eine kaum bemerkbare mittlere First voneinander getrennt sind und sich, auf der volaren Ausladung des Köpfchens auseinanderweichend proximalwärts ausziehen. (Am Daumen-Metacarpale kann es sogar zur Sonderung zweier kondylenartiger Vorsprünge am proximalen Ende der volaren Ausladung kommen.) Die beiden Facetten sind namentlich da deutlich, wo Sesambeine in die Volarplatte eingeschaltet sind; sie können sogar rinnenartig vertieft sein. Oder es kommt vor (am Daumen), daß eine besondere Facette für ein Sesambein sich von der übrigen Gelenkfläche scharf abgrenzt. Die Endgelenkflächen der Metacarpalia verhalten sich nach alledem in ihren dorsalen Teilen wie Kugelflächen oder ellipsoidische Flächen.

Die mittleren, distalwärts und volarwärts gerichteten Teile zeigen nach der volaren Seite hin eine gewisse allmähliche Annäherung an das Verhältnis einer Zylinderfläche; der abgeflachte volare Teil kann als einer Rotationsfläche von größerem Radius nahestehend aufgefaßt werden.

Die Pfanne der Grundphalanx bedeckt nur einen kleinen Teil der Köpfchengelenkfläche; ihre dorsovolare Krümmung namentlich

repräsentiert nur einen kurzen Bogen und ist auch flacher als diejenige des Metakarpalköpfchens; ihre radioulnare Konkavität entspricht ziemlich genau der radioulnaren Krümmung des mittleren Teiles der Köpfchengelenkfläche, ist aber erheblich flacher als diejenige des dorsalen Abschnittes jener Fläche. In volarer Stellung wird die Pfanne seitlich vom volar verbreiterten Köpfchen deutlich überragt (R. Fick).

2. Kapsel und Bänder.

Besonders bemerkenswert ist die Verdickung und Verdichtung des distalen Abschnittes der volaren Kapselwand zu einer druck- und zugfesten Platte. Es ist das der Teil der Platte, der bei Dorsalstellung der Grundphalanx zwischen der einfachen oder doppelten gespannten Beugesehne und dem Metakarpalköpfchen eingeklemmt ist und beim Andrücken der Hand an eine Unterlage auch noch den Druck der letzteren auszuhalten hat. Diese Platte ist ferner auf Zug in Anspruch genommen seitens der tiefen Faszie (Ligg. capitulorum), ferner durch den Ansatz der ersten Querfasern der Vagina fibrosa und durch die Anheftung der Längszipfel der gemeinsamen oberflächlichen Palmarfaszie. Am ersten und fünften Metacarpophalangealgelenk kommt dazu noch der Zug der kurzen Mm. non interossei, welche durch Vermittlung dieser Platte die Grundphalanx erreichen. Von der Grundphalanx ist sie durch eine äußerst kurze, etwas biegsamere, bloß zugfeste Gliederungsstelle verbunden. Sie bildet also eine Art Nebenlappen der Pfanne, welcher gegenüber der eigentlichen Pfanne beschränkt beweglich ist.

In diesen Platten können Sesambeine gefunden werden.

R. Fick faßt die Ergebnisse der genauen von Pfitzner angestellten Untersuchungen über ihr Vorkommen folgendermaßen zusammen:

Die Sesambeine sind ursprünglich alle paarig; das ulnare Sesambein am Kleinfingergelenk kommt in 76,5% der Fälle vor, das radiale in 3,1%. Das radiale Sesambein am Zeigefingergelenk fand Pfitzner in 45,9% der Fälle. Am Mittelfinger fand er ein radiales Sesambein in 2,1% der Fälle, am Ringfinger nur in 0,3% der Fälle. Niemals fand sich ein ulnares Sesambein am 2. und 3. und niemals ein radiales (soll heißen ulnares) am 4. Finger. Ziemlich oft sind statt der Beinchen nur kleine hyaline Sesamknorpelchen an den betreffenden Stellen vorhanden, die der Auffindung natürlich noch viel leichter entgehen können.

Ein proximaler Abschnitt der volaren Kapselwand, der über die volare Ausladung des Köpfchens mehr oder weniger vollständig proximalwärts hinübergreift, ist natürlich dünn und faltbar.

In den seitlichen Kapselwänden sind Seitenbänder ausgebildet. Sie gehen von einer Stelle aus, welche der dorsalen Peripherie der Randkante der Endgelenkfläche näher liegt als dem volaren Teil. Man kann an den Seitenbändern zwei Abschnitte unterscheiden, ein mehr parallelfaseriges, zum Seitenrand der Pfanne volarwärts distalwärts verlaufendes eigentliches Seitenband (Lig. collaterale rectum), und einen angeschlossenen, mehr fächerförmigen Teil, welcher zum Seitenrand der volaren Platte geht. Letzterer ist das Lig. collaterale accessorium der Autoren (Fig. 80).

Bei volarer Stellung der Grundphalanx, bei welcher die Pfanne auf dem mittleren Teile der Köpfchengelenkfläche aufruht, spannen

ch die seitlichen Bänder und wirken als kollaterale Fixationsbänder ur Verhinderung seitlicher Bewegungen und Längsrotationen der Grundphalanx. Bei dorsaler Stellung der Grundphalanx erschlaffen e, weil sich hier eine weniger dicke Knochenschicht zwischen ihre Ursprungs- und Ansatzstelle einschiebt.

Der in der Dorsalstellung benutzte Teil des Gelenkköpfchens verält sich hinsichtlich der Gelenkfläche und der Spannungsverhältnisse er Kapsel ähnlich einem Kugelgelenk; der in der Volarstellung benutzte Teil aber bietet mehr die Verhältnisse eines Ginglymus dar.

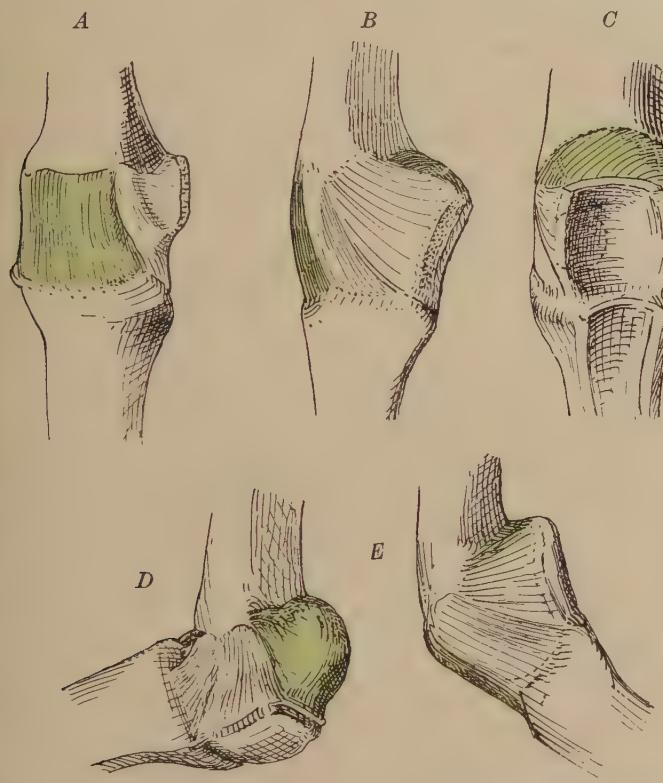


Fig. 80. Ein Metacarpophalangealgelenk. Dünne Kapselteile farbig. *A* Dorsalseite, *B* Seitenfläche, *C* Volarseite in Streckstellung; *D* und *E* Beugestellung.

H. v. Meyer hat deshalb diese Gelenke als eine Kombination von Ginglymus und Kugelgelenk aufgefaßt und als Ginglymoarthrodien bezeichnet.

Man kann diesen Ausdruck füglich beibehalten, wobei man sich nur klar machen muß, daß die Beschränkung der seitlichen Bewegung mit zunehmender Beugung nur ganz allmählich fortschreitet. Ferner

muß hervorgehoben werden, daß in der Dorsalstellung resp. Streckstellung des Gelenkes nur Dorsal- und Volar-, sowie Radial- und Ulnarbewegungen willkürlich ausgeführt werden können, nicht aber willkürliche Längsrotationen des freien Fingers möglich sind. Dagegen können letztere durch äußere Kräfte leicht in erheblichem Umfang herbeigeführt werden.

Daß zur Einschränkung der seitlichen Exkursion in den volaren Stellungen neben der exzentrischen Anheftung der Seitenbänder auch die Abänderung der von einer Seite zur anderen gehenden Krümmung der Gelenkfläche (Herausbildung zweier seitlicher Kanten am volaren Teil des Köpfchens) beiträgt, scheint mir trotz des Einspruches von R. Fick sicher zu sein. Daneben mag auch die volare Verbreiterung der Gelenkfläche von Einfluß sein (R. Fick), sofern wenigstens in der Volarstellung das Köpfchen über die Basis der Grundphalanx seitlich vorsteht und die seitlichen Kapselwände ausbuchtet.

3. Die Stellung der Grundphalangen zu den Metacarpalia und das Listingsche Gesetz.

Soweit bloß willkürliche Bewegungen der freien Finger in den Metacarpophalangealgelenken in Betracht kommen, handelt es sich in allen Stellungen nur um zwei Grade der Freiheit. Auch überzeugt man sich leicht, daß jeder bestimmten, willkürlich festgehaltenen Stellung der Längslinie der ersten Phalanx im Gelenk im allgemeinen eine ganz bestimmte Längsrotationsstellung entspricht.

Da in der extremsten Volarbeugung seitliche Ausschläge unmöglich sind, so gibt es hier nur eine Stellung der Längslinie, während Dorsalstellungen in mittlerer oder radialwärts oder ulnarwärts abgelenkter Stellung möglich sind. Man überzeugt sich nun leicht, daß der gestreckte Finger aus irgend einer der dorsalen Stellungen in jene eine extrem volare Stellung auf kürzestem Wege, d. h. in einem größten Kreis der um das Gelenk herumgelegten Exkursionskugel ohne irgendwelche Längsrotation, übergeführt wird. Alle diese größten Kreisebenen verhalten sich wie Meridianebenen, die sich in einer gemeinsamen, zum Metacarpale festgestellten Polachse schneiden. Und zwar verläuft diese Polachse von der dorsalen Seite zur volaren und zugleich etwas distalwärts. Je nachdem die Volarseiten der verschiedenen Metacarpophalangealgelenke mehr oder weniger gegeneinander sehen, konvergieren auch die Polachsen ihrer Exkursionskugelflächen mehr oder weniger nach der Hohlhand zu (Fig. 81).

Beugt man den Finger im ersten Interphalangealgelenk rechtwinklig, so daß dadurch die dorsovolare Längsebene der ersten Phalanx deutlich markiert wird, und untersucht nun die verschiedenen möglichen Stellungen, so erkennt man, daß diese Ebene stets ziemlich genau durch die Polachse der Exkursionskugel geht, also mit der Meridianebene der Längslinie der Grundphalanx übereinstimmt. Dementsprechend geschieht auch der Übergang aus einer radialen in eine ulnare Beugestellung als eine Bewegung um die zum Metacarpale festgestellte Pol

chse der Exkursionskugel; die Mittellinie der Grundphalanx bewegt ch im Kegelmantel, das Ende derselben in einem Parallelkreis der xkursionskugelfläche.

Die Stellung, von welcher aus die Seitenbewegungen in der Ebene nes großen Kreises (der Äquatorialebene der Exkursionskugel) und hne alle Längsrotation geschehen, ist, wie ich entgegen W. Braune nd O. Fischer finde, nicht die Streckstellung des Gelenkes, in welcher ie Längsachsen des Metacarpale und der Grundphalanx zusammen-llen, sondern eine mehr dorsale Stellung. Mit zunehmender Beugung ird die seitliche Bewegung mehr und mehr eine Kombination

a) einer Drehung der Grundphalanx um eine zu ihr quer verlaufende, in die Dorsovolarebene des Metacarpale entfallende Achse mit
b) einer Längsrotation nach der gleichen Seite (Auswärtsrotation bei der Ulnarbeugung, Einwärtsrotation bei der Radialbewegung), wobei die Bewegung der Dorsalseite für die Bezeichnung als maßgebend angenommen ist und der Daumenrand als Innenrand gilt.

Mit diesen Angaben stehe ich in bewußtem Widerspruch zu denjenigen von Braune und Fischer, nach welchen sich die Bewegungen nd Stellungen in den Metacarpophalangealgelenken nach dem Listingschen Gesetz richten, und zwar so, daß die Streckstellung der rimärstellung entspricht. Denkt man sich durch das Köpfchen der rsten Phalanx ein radioulnar verlaufendes Querstäbchen gelegt und urch dieses Querstäbchen um das Metacarpophalangealgelenk herum ine Exkursionskugel gelegt, so fällt nach den Ermittelungen von O. ischer das Querstäbchen in jeder Stellung der Phalanx mit einer reislinie zusammen, welche symmetrisch zu der Dorsovolarebene des etacarpale steht und die Längslinie des Metacarpale proximal vom elenk da trifft, wo sie von der Exkursionskugel geschnitten wird: im roximalen Pole der Exkursionskugel. Das wäre ein Verhalten, wie s dem Listingschen Gesetz, das für die Stellungen des Augapfels ufgestellt worden ist, entspricht. Die genannten Kreislinien müßten ir als radioulnare Richtungskreise bezeichnen.

Meinen eigenen Beobachtungen zufolge aber fällt das Querstäbchen n jeder Stellung annähernd mit einem Parallelkreis der Exkursionsugel zusammen, wobei die Polachse der Kugel von der Dorsalseite es Metacarpusköpfchens zur Volarseite und zugleich etwas distalwärts rläuft. Der Unterschied ist in der Tat namentlich für die volaren tellungen nicht ganz unerheblich (Fig. 81).

Ein dorsovolar durch das Köpfchen der ersten Phalanx hindurchestecktes Stäbchen würde nach O. Fischer und gemäß dem Listingchen Gesetz stets mit einem Richtungskreise zusammenfallen, dessen bene im proximalen Pole der Exkursionskugel durch eine dorsovolar um Metacarpale verlaufende Gerade geht (dorsovolare Richtungskreise). ach meinen Beobachtungen aber würde ein solches Stäbchen jeweils usammenfallen mit einem Meridian der Exkursionskugel, der von dem orsalen etwas proximalwärts liegenden zum volaren mehr distalwärts elegenen Pol der Exkursionskugel geht.

Braune und Fischer haben die Gültigkeit des Listingscher Gesetzes durch eine Schattenbildermethode zu beweisen gesucht, die zwar theoretisch ingeniös ausgedacht, aber tatsächlich kaum genügend genau ist, um mit Sicherheit zu entscheiden, ob die Stellungen und Stellungsänderungen genau dem Listingschen Gesetz oder nicht vielmehr einer anderen, mehr oder weniger verwandten Regel folgen.

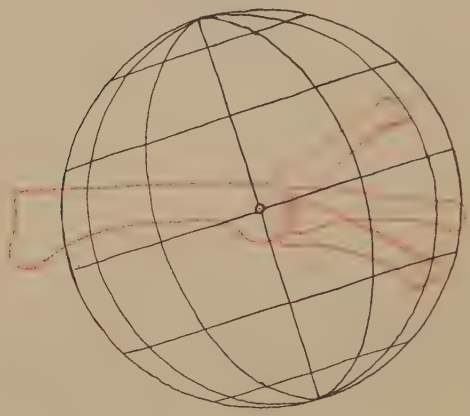


Fig. 81.

Mag nun die von Braune und Fischer oder die von mir vertretene Annahme richtig sein, so ist jedenfalls die Längsrotationsstellung der ersten Phalanx, welche mit irgend einer Stellung ihrer Längsachse verbunden ist, dieselbe, mag die letztere direkt von einer bestimmten Primär- oder Mittelstellung aus durch eine denkbar einfachste Drehung oder mag sie auf Umwegen erreicht sein.

Wenn man berücksichtigt, daß im Metacarpophalangealgelenk, von den Grenzlagen abgesehen, am Bänderpräparat neben dorsovolaren und seitlichen Exkursionen auch Längsrotationen der Grundphalanx in größerem oder geringerem Umfang möglich sind, so muß man nach den Ursachen fragen, welche bewirken, daß am Lebenden mit jeder bestimmten Stellung der Längslinie nur eine bestimmte Längsrotationsstellung assoziiert ist, und daß also gleichsam auf einen der drei nach der Gelenkeinrichtung vorhandenen Grade der Freiheit der Bewegung verzichtet wird. Ganz die gleiche Erscheinung tritt uns auch bei anderen sog. zweiachsigen Gelenken entgegen, und ebenso bei den Stellungsänderungen des Augapfels. Die Frage nach den Ursachen dieser Erscheinung bei eigentlichen Gelenken ist bis jetzt kaum gestellt und jedenfalls nicht in befriedigender Weise beantwortet worden.

4. Entwicklungsmechanisches.

In entwicklungsmechanischer Hinsicht gilt für die Metacarpophalangealgelenke Ähnliches wie für die Metatarsophalangealgelenke. Daß sowohl das Gelenk selbst als die kurzen Muskeln auf die Nebenbewegung der Grundphalangen in starker Volarbeugestellung nicht eingerichtet sind, begreift sich, da die Finger dabei in die Hand eingeschlagen und dadurch vor allem an den rein seitlichen Bewegungen verhindert sind. In der Streckstellung aber ist die Gelegenheit zur seitlichen Bewegung wohl schon in früher embryonaler Zeit gegeben. Räumt man im allgemeinen ein, daß bei der Ausgangsstellung

r Gelenkform die bewegenden Muskeln eine Rolle spielen, so wird
an auch geneigt sein, das verschiedene Verhalten der Berührungs-
che und der Kapsel bei der Beuge- und Streckstellung auf das oben
ähnte verschiedene Verhalten der kurzen Muskeln in den beiden
ellungen zurückzuführen.

Für die starke Entwicklung der Seitenbänder, welche geeignet
, das Gelenk namentlich in volar gebeugten Stellungen gegen stärkere
tliche Exkursionen zu schützen, sind vor allem die passiven äußeren
nwirkungen verantwortlich zu machen.

Was die Beimischung von Längsrotation zu den Seitenbewegungen
trifft, so erklärt sich, wie mir scheint, das angegebene Verhalten in
ir einfacher Weise aus den Verhältnissen der Muskulatur. Jedes
ser Gelenke wird gewissermaßen von zwei längsverlaufenden Muskel-
lingen, einer dorsovolaren und einer radioulnaren bedient.

Um eine reine Bewegung der Grundphalanx um eine quer zu ihr
rlaufende Achse ohne Längsrotation herbeizuführen, müßten die be-
genden Muskelkräfte (Muskelschlingen) genau in Längsebenen der
undphalanx verbleiben. In der Tat liegen aber die kurzen Ab- und
lductoren der Grundphalanx nur bei etwas dorsalwärts abgelenkter
ellung zusammen und mit der Längsachse der Grundphalanx in der
ichen radioulnaren Ebene. Während nun die Beuge- und Streck-
nen bei seitlicher Ablenkung der Grundphalanx durch besondere
richtungen wenigstens annähernd dorsal und volar an der Mitte
s Gelenkes gehalten werden, rückt die Zugrichtung der seitlich be-
genden Muskeln bei der Volarbeugung volarwärts. Sie bleibt dabei
er annähernd sich selbst parallel. Es ist klar, daß zu der Kompo-
nte, welche in der radioulnaren Längsebene der Grundphalanx dreht,
e Komponente zur Volardrehung um eine Querachse und eine Kom-
nente zur Drehung um die Längsachse hinzukommen müssen.

Eine gewisse Rolle mögen wohl die Widerstände im Gelenk
lbst spielen. Jedenfalls hat R. Fick recht, wenn er bei der Ab-
nkung nach der ulnaren Seite das radiale und bei der Ablenkung nach
r radialen Seite das ulnare Seitenband stärker gespannt sein läßt.
adurch wird vornehmlich die rein seitliche (radiale oder ulnare) Ab-
nkung gehemmt. Das Seitenband der vorausgehenden Seite aber
mmt vornehmlich die Längsrotation. Die Hauptsache für das Auf-
eten eines längsrotierenden Einflusses in Volarbeugestellung, und um
mehr für einen solchen Einfluß in starker Dorsalbeugestellung bleibt
er doch wohl der abgeänderte Verlauf der seitlichen Muskeln.

5. Die Wirkung der Muskeln zur isolierten und zur emeinsamen Bewegung der langen Finger. Hautfaltung.

An den langen Fingern wirken folgende Muskeln:

1. An jedem Finger je ein kurzer, abduzierender und ein adduzie-
nder Muskel. Beide Muskeln sind Mm. interossei und gehen mit ihren
hnen (in der Regel) an der Seite der ersten Phalanx vorbei, um sich

mit der Strecksehne zu verbinden — mit Ausnahme des Abductor digiti minimi, der ein non interosseus ist, mit seiner Sehne an der Basis der ersten Phalanx endet und öfters keine Beziehung zur Strecksehne hat.

2. Dazu kommt im fünften Finger der Flexor brevis, der sich an der Basis der Grundphalanx ansetzt. (Berücksichtigen wir die Bewegung der ganzen Strahlen, so kommt am fünften Strahl auch noch der am Metacarpale endende M. opponens in Betracht.)

3. An sämtlichen langen Fingern endet je ein Lumbrikalmuskel, der sich von der zum gleichen Finger gehörigen Sehne des tiefen gemeinsamen Fingerbeugers ablöst und in der Regel an der radialen Seite der Grundphalanx vorbei zum Seitenrand der Strecksehne geht.

4. An jedem langen Finger verläuft eine Sehne des gemeinsamen tiefen Fingerbeugers im Grund der Vagina fibrosa bis zur Endphalanx.

5. An jedem langen Finger zieht oberflächlich in der Vagina fibrosa eine Sehne des gemeinsamen oberflächlichen Fingerbeugers bis zur zweiten Phalanx.

6. An der Streckseite des Index endet der Indicator, dessen Sehne sich mit der Sehne des gemeinsamen Fingerstreckers vereinigt.

7. An sämtlichen langen Fingern findet sich dorsal eine Sehne des gemeinsamen Fingerstreckers und am fünften Finger außerdem die Sehne des Extensor digiti V. proprius.

Die Beugungsebenen der vier langen Finger konvergieren volarwärts; daraus folgt schon, daß sich die Finger bei reiner Wirkung der langen Fingermuskeln in der Volarbewegung zusammenschließen, in der Dorsalbewegung etwas auseinanderspreizen. Damit in Zusammenhang steht, daß der mittlere Zug der Strecksehnen, wenn sich die Grundphalangen in mittlerer Stellung zwischen Ab- und Adduktion befinden, über die Mitten der Metacarpophalangealgelenke (an der Dorsalseite) hinübergeht. Bei ab- oder adduzierten, leicht gebeugten Grundphalangen gleiten zwar die Strecksehnen von der Mitte der Dorsalseite dieser Gelenke etwas herab, aber doch nur so wenig, daß ihre jenseits gelegenen Stücke nach der gleichen Seite wie die Finger abgelenkt sind. Infolge davon vermögen sie die Finger bei der Dorsalbewegung in ihre Mittelstellung zurückzuführen, so daß sie, alles in allem genommen, das eine Mal etwas weniger, das andere Mal etwas mehr spreizend wirken. Eine rasche Dorsalbewegung der Finger scheint nun aber unwillkürlich mit noch stärkerer, maximaler Spreizbewegung der Finger verknüpft zu sein, so daß wir eine gewohnheitsmäßige oder auf noch ursprünglichere Assoziation begründete gemeinsame Innervation der langen Extensoren und der kurzen Abduktoren annehmen müssen. Bei gebeugten Fingern ist die mögliche Spreizbewegung der Finger beschränkt, kommt aber doch, solange die Beugung nicht maximal ist, unter Umständen zu Geltung, wie R. Fick mit Recht gegen Duchenne hervorhebt, z. B. „wenn wir von oben her einen kleinen Gegenstand (ein Quantum Tabak) von allen Seiten mit den Fingerspitzen erfassen". In der Streckstellung ist Mitwirkung der kurzen Adduktoren zum völligen Schluß der Finger nötig und die Unmöglichkeit des letzteren in der

reckstellung ist deshalb für die Lähmung des N. ulnaris pathognosch (Duchenne).

Was die Möglichkeit resp. Beschränkung der isolierten Dorsalflarbewegung der einzelnen Finger betrifft, so sei hier nochmals auf oben (S. 159) besprochenen Sehnenbrücken zwischen den langen reckSehnen hingewiesen. In der Regel zweigt von der Sehne zum rten Finger jederseits eine Sehnenbrücke ab, welche zu den Nachbarnen distalwärts verläuft; weniger konstant ist eine von der Sehne s dritten zu derjenigen des zweiten distalwärts verlaufende Brücke; ztere kann auch umgekehrt schräg gerichtet sein. Mitunter liegen Sehnen geradezu interdigital und gabeln sich, so daß sich je die ei benachbarten Schenkel zweier Gabeln zu den Sehnen des dritten d vierten Fingers vereinigen, während die äußersten Zipfel mit den nen des Indicator und des Ext. digit. quinti sich verbinden. Eine aue statistische Untersuchung über die Häufigkeit der verschiedenen ordnungsweisen der Sehnenbrücken, ihr Vorhandensein oder Fehlen verschiedenen Berufsarten, Rassen usw. fehlt noch.

Mit vollem Recht hat R. Fick darauf hingewiesen, daß die Sehnenkturen nicht die einzige Einrichtung darstellen, welche die glichkeit isolierter Bewegung der einzelnen Finger beränkt, daß vielmehr in dieser Beziehung ganz besonders auch die ut und Faszie der Volarseite eine wichtige Rolle spielen. In Tat stellt die Haut des Handtellers mit ihrer Unterpolsterung und in sie eingewebten Faszienausstrahlung eine wenig biegsame Platte r, welche bei den Formveränderungen der Mittelhand in scharfen rchen und größeren Feldern gebrochen wird. Zwischen ihr und den gern entstehen bei der Volarbeugung der letzteren scharfe Knickungschen und ihr distaler Rand wird zu einer plumpen Falte unter dem liert nach der Vola vorrückenden Finger zusammengeschoben und larwärts halfterartig ausgebogen; rücken mehrere Finger gleichzeitig larwärts, so entsteht unter ihnen eine gemeinsame volarwärts gebogene lte. Die Schenkel einer solchen Falte ziehen sich als scharf vorspringende Kanten an den benachbarten volaren Rändern der zurückbleibenden Finger distalwärts. Durch die Querspannung dieser halftertigen Hautfalten werden die Nachbarfinger dem direkt durch Muskelaft volarwärts bewegten Finger nachgezogen resp. sie hemmen, wenn festgehalten sind, die Volarbewegung des direkt bewegten Fingers. ngekehrt ist auch die Dorsalbewegung eines Fingers durch die Volarllung des einen oder der beiden Nachbarfinger gehemmt, resp. sie nn nicht maximal ausgeführt werden, ohne daß die Nachbarfinger re volare Stellung verlassen. Je plumper und dicker die Haut des ndtellers ist, desto auffälliger ist diese Behinderung. Die Fähigkeit, n einzelnen Finger isoliert zu bewegen, kann dabei sehr wohl vorden sein, solange diese Falten nicht stark ausgeprägt und angespannt d. Der Fehler kann also nicht an der Innervation liegen.

Beschränkt ist wesentlich nur das weitere Abrücken eines Fingers n seinen Nachbarn; daß keine Sehnendurchschneidung hieran etwas bessern vermag, liegt auf der Hand. Bei Klavier- und Violinspielern

müssen notwendigerweise die Hautfalten länger, biegsamer und schlaffer sein. Ihre Ansätze an die volaren Randkanten der Finger bilden die interdigitalen schwimmhautartigen Falten, deren volare Lage im Interdigitalsattel danach völlig verständlich ist.

Eine Abnormität besonderer Art ist die angeborene stärkere Ausbildung der interdigitalen Hautfalten, wobei dieselben weiter distalwärts reichen und straffer sind. Es finden sich hier alle Übergänge bis zu vollständiger Synechie der benachbarten Finger.

Der Antagonismus zwischen den langen Beugern und Streckern der Finger.

Man kann leicht am Lebenden oder am nicht präparierten Leichnam feststellen, daß sich die maximal eingekrümmten Finger bei der Volarbeugung der Hand etwas strecken, und die gestreckten Finger bei Dorsalbeugung der Hand etwas volarwärts einkrümmen. Diese Erscheinung an der Leiche beruht auf der passiven Insuffizienz hier der Beuger, dort der Fingerstrecker. Wenn die Beuger durch die Fingerstreckung so weit angespannt sind, daß sie sich nicht weiter dehnen lassen, so muß jede Verlängerung der Volarseite der Handgelenkgegend durch Dorsalbeugung in den Handgelenken mit einer Verkürzung der Volarseite der Fingergelenke erkauft sein. Ein ähnliches Verhältnis besteht zwischen der Volarbeugung des Handgelenkes und der Dorsalbewegung in den Fingergelenken, wobei die Strecksehnen die Kompensation vermitteln.

Zu den Erscheinungen der passiven Insuffizienz (die übrigens am Leichnam bei allgemeiner verminderter Muskeldehnbarkeit stärker hervortreten) kommen nun beim Lebenden die Erscheinungen der aktiven Insuffizienz. Es ist nicht möglich, bei volarwärts gebeugter Hand auch noch die Finger maximal und kraftvoll gebeugt zu halten. Ein kleiner Gegenstand kann bekanntlich unter den eingekrümmten Fingern nicht mit größerer Kraft festgehalten werden, wenn zugleich die Hand stark volarwärts gebeugt ist, weil dabei die Beugemuskeln an der Grenze ihrer aktiven Verkürzungsfähigkeit angelangt sind (zugleich sind natürlich die Strecker nahe der Grenze ihrer passiven Dehnungsfähigkeit). Andererseits lassen sich bei volar gebeugter Hand die Finger besser strecken und in den Grundgelenken weiter dorsalwärts stellen, als bei dorsal gebeugter Hand. Wir sehen also an der Leiche bei künstlich herbeigeführter Dorsalbeugung im Handgelenk die Finger sich einkrümmen und bei der Volarbeugung der Hand sich strecken. Duchenne aber hat gezeigt, daß wir bei der willkürlichen Kontraktion der langen Fingerbeuger ganz unwillkürlich zugleich die Dorsalbeuger der Handwurzel, und bei der willkürlichen Streckung der Finger die Volarbeuger der Handwurzel kontrahieren, wodurch die Ausgiebigkeit und Kraft der Bewegung an den Fingern erhöht wird.

Lydie v. Besser hat unter Bugnions Leitung die Verkürzungsgrößen der langen Fingermuskeln bei maximaler Exkursion in den drei Gelenken der langen Finger gemessen und folgende Tabelle erhalten

Muskel	Verkürzung im Grundgelenk bei 170° Exkursion	Im I. Interphal.-Gelenk bei 120° Exkursion	ImEndgelenk bei 90° Exkursion	Querschnitt in qcm
)berflächlicher Fingerbeuger im Mittel .	19,4 mm	13,7	—	10,69
Tiefer Fingerbeuger im Mittel	19,3 „	13,45	5,6	10,77
Gemeinsamer Fingerstrecker im Mittel .	13,6 „	6,7	3,2	4,28
ndicator im Mittel .	16,8 „	7,1	3,5	1,17

Am gleichen Gelenk sind die Hebelarme den Verkürzungen proortional; die Beuger wirken also an längeren Hebelarmen als die Strecker. Außerdem sind die Querschnitte der Beuger mehrfach größer als diejenigen der Strecker. Die Beuger haben also aus doppeltem Grunde n allen drei Gelenken, namentlich aber am ersten Interphalangealelenk das Übergewicht. Der Unterschied wird auch für das Endgelenk och größer, wenn man berücksichtigt, daß sich nicht der ganze Zug er Strecker bis zum Endglied fortsetzt. Ohne Mitwirkung der kurzen Muskeln der Hohlhand werden also bei gleichmäßigem Tonus der langen Muskeln die Finger nach den Enden zu stärker eingekrümmt sein.

Einfluß des Lumbricales und Interossei.

Da diese Muskeln alle mehr oder weniger an der Seite des volaren Abschnittes der Metacarpophalangealgelenke vorbeiziehen, so wirken sie beugend auf die Grundphalanx, unterstützen aber die Zugwirkung der Strecksehne auf die Mittel- und Endphalanx. Die Lumbricales wirken außerdem an ihrem proximalen Ende auf die Sehnen des tiefen gemeinsamen Fingerbeugers und entspannen etwas die über ihren Ursprung hinausgehenden distalen Enden der langen Beugesehnen, welcher Einfluß ebenfalls einem streckenden Einfluß auf die distalen Fingergelenke gleichkommt; sie wirken also in doppelter Hinsicht streckend auf diese Gelenke. Wenn eine gleichmäßige Krümmung der langen Fingerstrahlen in der Ruhehaltung das Resultat ist eines mittleren Tonus der langen Beuge- und Streckmuskeln der Finger, der Lumbricales und der übrigen kurzen Muskeln der Strahlen, so bewirkt Lähmung der Interossei und Lumbricales eine Abänderung der Ruhehaltung im Sinne einer verminderten Volarbeugung der ersten Phalanx und einer vermehrten Volarbeugung der folgenden Phalangen, „Krallen- oder Klauenstellung der Hand“ (Duchenne). Sie ist pathognomisch für Lähmung des Ulnaris, welcher die Interossei und ulnaren Lumbrikalmuskeln versorgt. Zur vollständigen Ausprägung gehört auch noch die Lähmung der vom Medianus versorgten radialen Lumbrikalmuskeln.

Nach R. Fick hat schon R. Columbus im 16. Jahrhundert die Wirkungsweise der Interossei und Lumbrikalmuskeln richtig angegeben, später dann auch wieder L. Fick 1845 in seinem Lehrbuch. Eine besonders gründliche und glänzend

Darstellung ist ihnen wie überhaupt dem ganzen Muskelspiel an der Hand durch Duchenne zuteil geworden.

Die Mitwirkung der Mm. interossei und lumbricales ist von der größten Bedeutung für die Ausführung zahlreicher Bewegungen, bei welchen das erste Fingerglied gebeugt wird, die folgenden Glieder sich strecken, wobei also die Fingerspitze aus der Nähe des Metacarpophalangealgelenkes mehr oder weniger in gerader Linie distalwärts geführt wird. Dies hat den Lumbrikalmuskeln den Namen Mm. fidicinales eingetragen (Bewegung der Finger auf dem Griffbrett der Geige; auch die Finger der Hand, welche den Bogen führt, zeigen analoge Bewegungen). Meiner Meinung nach ist auch die Angabe, daß die Muskeln zur Ausführung der Haarstriche beim Schreiben notwendig sind, vollständig gerechtfertigt, wenn auch zum Schluß die Beugung der ersten Phalanx zurücktritt und Streckbewegung stattfinden kann. Eine wichtige Rolle spielt die genannte Bewegung ferner beim Zeichnen usw.

δ) Das Basalgelenk des Daumens.

1. Orientierung über die Bewegungsmöglichkeiten.

Der Daumenstrahl ist vor allem ausgezeichnet durch die ausgiebige Beweglichkeit seines Metacarpale zur Handwurzel. Er stellt mit den um ihn herumgruppierten Muskeln und übrigen Weichteilen einschließlich des an ihm entspringenden Kopfes des Interosseus dorsalis I gewissermaßen einen besonderen Nebenflügel der Mittelhand dar, der wie ein Segel gerefft oder ausgespannt werden kann (unter Adduktion des ersten Metacarpale gegen das zweite oder Abduktion von demselben), der aber auch mit der Volarseite voran gegen die Volarseite des Hauptteils der Mittelhand zugedreht und gegen sie in einen rechten Winkel gestellt werden kann (Opposition), oder umgekehrt in die Flucht der Hauptteile der Mittelhand zurückbewegt wird (Reposition). Diese Bewegungen vollziehen sich am Skelett im Carpo-Metacarpalgelenk des Daumens. In dem segelartigen Nebenflügel bildet das erste Metacarpale gleichsam die Randstange. Sie kann vom zweiten Strahl so weit entfernt (abduziert) werden, daß sie mit ihm einen Winkel von ungefähr 60° bildet. Dabei wird die Weichteilplatte ausgebreitet und verdünnt, während sie bei der Adduktion des ersten Metacarpale (Reffung des Segels) verdickt wird und sich nach der Volar und nach dem Dorsum vorwölbt.

Die Untersuchung des Lebenden und des Präparates zeigt, daß es sich bei diesen Umstellungen um zwei in jeder Stellung rechtwinklig zueinander gerichtete Bewegungen des Daumenmetacarpale handelt: 1. eine Bewegung nach der Volarseite des als Postament dienenden Trapezbeins und ihre Gegenbewegung nach der Dorsalseite dieses Knochens hin. Da die Hauptebene des letzteren zu derjenigen der ganzen Hand in bekannter Weise schräg steht, so geht die erwähnte Volarbewegung zugleich nach der Kleinfingerseite hin, die Rückbewegung aber nach der Radialseite der ganzen Hand. 2. Die zweite Bewegung

us jeder beliebigen volaren oder dorsalen Stellung ist eine Annäherung n den zweiten Mittelhandknochen resp. eine Entfernung von dem- lben.

Die Volarbewegung wird seit A. Fick allgemein als „Opposition" be- ichnet. Für die Dorsalbewegung hat merkwürdigerweise bis vor kurzem n offizieller Ausdruck gefehlt. Ich habe von jeher dafür im Unterricht den usdruck „Reposition" angewendet, eine Bezeichnung, die nun auch von R. Fick npfohlen wird.

Diese den Daumenstrahl charakterisierenden und auszeichnenden ewegungen vollziehen sich ausschließlich in seinem basalen Gelenk, m ersten Metacarpophalangealgelenk. Damit ist nicht ausgeschlossen, ß die Oppositionsstellung des Daumen*fingers* durch Einwärtsrotation iner ersten Phalanx im Metacarpophalangealgelenk noch etwas ver- ehrt werden kann.

Der Daumen kann die Stütz- und Tragfläche der Hand in sehr sgiebiger Weise verbreitern; er kann jedem der vier anderen Finger genübergestellt werden und mit ihnen eine Klammer, eine Pinzette lden. Der Daumen kann, wie R. Fick sich treffend ausdrückt, „bei estreckten Fingern die Vorderseite der Köpfchen der vier ulnaren Mittelhandknochen bestreichen; je nach dem Beugungsgrad der Finger kann er die ganze Vorderseite aller Finger von der Grund- bis zur Nagelphalanx und alle Fingerspitzen befühlen; ebenso die ganze Rück- seite in ihren zwei vorderen Phalangen, d. h. der Daumen kann, wie L. Fick sagte: die Faust an jedem Finger schließen. Von den Grund- phalangen kann er, mit Ausnahme des Zeigefingers, der ihm zugäng- licher ist, nur etwa die distale Hälfte der Rückseite erreichen. Kurz, man sieht, dem Daumen ist fast jede Stelle der übrigen Finger zu- gänglich. Für die Festigkeit beim Greifen zwischen dem Daumen und einem der beiden nächsten, am meisten dazu benützten Finger ist die feste, wenig bewegliche Verbindung des zweiten und dritten Mittelhandknochens mit der Handwurzel sehr günstig, wie Gegen- baur mit Recht hervorgehoben hat."

Zum Vergleich der Menschen- mit der Affenhand bemerkt der gleiche Autor uf Grund seiner eigenen genauen anatomischen Untersuchungen am Orang, aß zwar die Affenhand im ganzen relativ (zum Körper) länger ist als die Menschen- and, letztere aber (für das Greifen usw.) doch günstiger gestaltet ist durch die rößere Länge des Daumens im Vergleich zu den übrigen Fingern (17—20% gegen 1,5 %).

2. Charakter des Gelenkes. Gelenkflächen und Drehungsachsen.

A. Fick (1854) scheint der erste gewesen zu sein, der den Charakter es basalen Daumenstrahlgelenkes als „Sattelgelenk" richtig erkannt at. (Gesamte Abhandlungen, I. Bd., S. 430.)

Das erste Carpo-Metacarpalgelenk ist das einzige richtige Sattel- elenk des Körpers. Beim Menschen ist der Sattelcharakter besonders ypisch (R. Fick). In ihm bewegen sich mit sattelförmigen Gelenk- ächen aneinander das Trapezbein und das I. Metacarpale.

Die sattelförmige distale Endfläche des Trapezbeins verläuf mit ihrer Längsrichtung radioulnarwärts und etwas distalwärts, zugleic aber wegen der queren, volarwärts konkaven Gewölbekrümmung de Handwurzel auch dorsalwärts. Die Hauptebene des Trapezbeins un seines Sattels bildet mit der Hauptebene der Hand einen Winkel vo ungefähr 45°. Der radioulnare (Längs-) Durchmesser der Sattelfläche is größer als der dorsovolare (Quer-) Durchmesser.

Die Basis des I. Metacarpale ist annähernd vierseitig, mi abgerundeten Ecken; die beiden Durchmesser ihrer sattelförmigen proximalen Gelenkfläche sind annähernd gleich groß. An beiden Ge lenkflächen ist die radioulnare Krümmung distalwärts, die dorsovolare Krümmung aber proximalwärts konkav.

Ein kongruentes Gleiten mit ausgebreitetem Kontakt ist natür lich ohne starke Kompression und Formveränderung der Knorpelbeläg nicht möglich. Tatsächlich klaffen die Gelenkflächen nach den Ränder zu auseinander (Näheres s. u.).

Wir können den Trapezsattel mit dem Sattel eines Pferdes ver gleichen, dessen Hals durch das zweite Metacarpale dargestellt ist. De erste Mittelhandknochen stellt den Reiter dar, welcher dem zweiten Meta carpale zugewendet ist und den einen Schenkel auf der dorsalen, de anderen auf der volaren Seite des Trapezbeines herabhängen läßt. Di Adduktionsbewegung entspricht einer Vordrehung des Reiters gege den Hals des Pferdes, wobei die Sitzfläche nach hinten (hier radialwärts auf dem Sattel ausrutscht. Diese Drehung geschieht um eine durc den Leib des Reiters von einer Seite zur anderen (hier dorsovolarwärts verlaufende Achse. Die Oppositions- und Repositionsbewegung ent spricht dem Hinabrutschen des in sich versteiften Reiters nach de einen oder anderen Seite des Sattels, wobei die Drehung um eine in Sattel selbst von vorn nach hinten (hier ulno-radialwärts) verlaufend Achse stattfindet.

Die Richtung der dorsovolaren Achse ändert aber, wie weite auszuführen ist, ihre Richtung je nach der Gelenkstellung sowohl gegen über dem Metacarpale als gegenüber dem Trapezbein, und gleiches gil für die radioulnare Achse. Es kommen also im ganzen zwei Schare von Achsen in Betracht, um welche Drehungen stattfinden, wenn di Gelenkflächen in den Hauptkrümmungsrichtungen aneinandergleiten ganz abgesehen von den Längsrotationen, welche am Metacarpale – wenigstens am Bänderpräparat — hervorgerufen werden können. Für jed einzelne Stellung aber ist die mögliche Bewegung ziemlich genau au zwei Drehungen um zwei bestimmte, annähernd quer zum Metacarpal gerichtete Achsen eingeschränkt, ohne die Möglichkeit aktiver Längs rotation.

Man darf von vornherein erwarten, daß in dorsovolaren Ebenen in welchen das Trapezbein den Kopf, das Metacarpale die Pfanne bilde der Bogenwert der Gelenkfläche am Trapezbein größer ist als am Meta carpale, und daß das Umgekehrte gilt für die radioulnaren Ebenen Daß dem wirklich so ist, kann man leicht erkennen. Namentlich gro ist der Unterschied in radioulnarer Richtung. Die Ausdehnungs- un

Krümmungsverhältnisse der Gelenkflächen sind von Günther (1850), R. du Bois-Reymond (1895) und R. Fick (Handb. I.) genauer untersucht worden.

3. Kapsel und Bänder.

Obschon das radiale und das ulnare Ende des Trapezbeins gleichsam den Pfannenrand bilden für die Ab-Adduktionsbewegung, so sehen wir doch eigentümlicherweise den Kapselursprung hier, und zwar ganz besonders an der radialen Seite, ziemlich weit über den Rand der Gelenkfläche proximalwärts greifen. Der Kapselansatz am Metacarpale hält sich im ganzen ziemlich nahe dem Rande der Basis und entfernt sich nur an der Dorsalseite etwas weiter von ihm. In der Mittelstellung des Gelenkes ist die Kapsel überall schlaff. Theoretisch wären die Linien der Kapsel, welche zwischen den Endpunkten der dorsovolaren

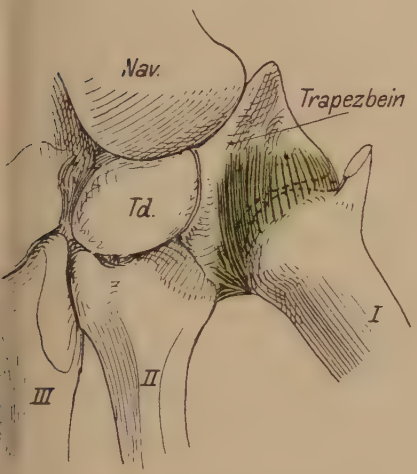


Fig. 82. Basalgelenk des Daumenstrahls. Volarseite.

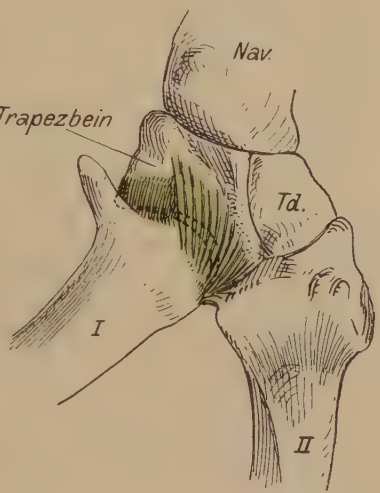


Fig. 83. Basalgelenk des Daumenstrahls. Dorsalseite.

Achsen und denjenigen der radioulnaren Achsen verlaufen, d.h. zwischen den Punkten, wo diese Achsen die Knochenoberflächen schneiden, unter allen Linien diejenigen, welche bei den zwei Hauptbewegungen im Gelenk ihre Länge am wenigsten ändern. Wegen der wechselnden Lage und Richtung der Achsen könnten freilich statt vier solcher bestimmter Punkte, wie sie einer bestimmten einzelnen Gelenkstellung entsprechen, nur vier größere Bezirke in Betracht kommen, etwa die dorsale und volare Fläche der Metakarpalbasis und ferner die Radialseite des Trapezbeins und die Gegend seiner ulnaren distalen Ecke. Es zeigt sich aber, daß die verstärkenden Züge der Kapsel durchaus nicht in Form von

vier Bändern zwischen diesen Feldern ausgespannt sind. Wir finden im Gegenteil (Figg. 82 u. 83) an der volaren und an der dorsalen Seite der Kapsel je ein starkes Band, welches schräg von der dorsalen Breitseite des Trapezbeins zur ulnaren dorsalen, von der volaren Breitseite zur stärker vorspringenden ulnaren volaren Ecke der Metakarpalbasis hinzieht. Das volare Band beschränkt sich auf die ulnare Hälfte der Volarseite der Kapsel. Seine Fasern konvergieren etwas distalwärts; es entspringt an der Tuberositas des Multangulum majus und jenseits derselben von dem Faserpolster unter dem Ende der Sehne des Flexor carpi radialis. Das dorsale Band nimmt die ganze Breite der dorsalen Kapselwand ein, die am radialen dorsalen Höcker entspringende Partie ist besonders kräftig, ihre Fasern divergieren etwas, so daß die radialsten Fasern mehr longitudinal verlaufen. An der ziemlich breiten ulnaren Seite des Gelenkes sehen wir verschiedene ziemlich starke Faserzüge vom Trapezbein und einige oberflächliche auch von der Basis des zweiten Metacarpale zum Daumenmetacarpale ziehen. Unter der Sehne des Abductor pollicis longus und in der Nachbarschaft an der Volarseite ist die Kapsel dünn. Hier ist gewöhnlich zwischen Sehne und Kapsel ein Schleimbeutel vorhanden, den auch R. Fick erwähnt.

Die ulnaren Bandzüge vermöge ihrer Lage und das dorsale und volare Band vermöge ihres distalwärts ulnarwärts gerichteten Verlaufes hemmen in vorzüglicher Weise die Abduktion, während das dorsale Band zugleich die Opposition, das volare Band die Reposition des Metacarpale zu hemmen vermag. Hemmungsbänder für die Adduktion, welche in entgegengesetzter Richtung schräg verlaufen müßten, fehlen. Offenbar wird diese Hemmung in genügender Weise durch den Widerstand des zweiten Metacarpale und der Fleischmassen des Spatium intermetacarpale besorgt. Die Anordnung der Bänder steht ferner in guter Übereinstimmung mit der Tatsache, daß der radiale Rand der Basis des ersten Metacarpale bei der Repositions- und Oppositionsbewegung etwas größere Exkursionen macht als der ulnare Rand. (Über die längsrotatorische Umstellung der Grundphalanx s. S. 203.)

Im Gegensatz zu der guten Vertretung der exaxialen Hemmungsbänder fehlen also am ersten Carpometakarpalgelenk Bänder, welche einigermaßen ständig fixieren. Offenbar wird die Fixation genügend durch den Kraftschluß der Muskeln und die Verschränkung der Gelenkflächen zustande gebracht.

Es darf übrigens nicht verschwiegen werden, daß das basale Gelenk des Daumenstrahls sehr variabel ist und daß die beiden Krümmungen mitunter recht wenig ausgeprägt sind.

4. Theoretisches über das Sattelgelenk.

Im Sattelgelenk greifen zwei Gelenkkörper im Sinne der Verschränkung mit sattelförmigen Gelenkflächen übereinander. Die Trennungsspalte hat eine doppelte Krümmung; die Achsen, um welche sich die beiden Hauptprofile der Krümmung irgend einer Berührungs- und Gleitstelle herumkrümmen, liegen jedenfalls an zwei entgegengesetzten

eiten der Berührungs- und Gleitfläche und stehen windschief zu-
inander. Es handelt sich um ein Gelenk von mindestens zwei Graden
er Freiheit, welches von irgend einer mittleren Stellung aus zwei an-
ähernd senkrecht zueinander gerichtete Drehungen erlaubt. Ganz
llgemein bezeichnet man das Gelenk als ein zweiachsiges. Es be-
teht aber über die Bedingungen der Bewegung in einem solchen Gelenk
iel Unklarheit. Wir wollen untersuchen, unter welchen Bedin-
ungen in einem solchen Gelenk der breiteste Kontakt und die
rößte zwangsmäßige Sicherung der Bewegung vorhanden, und
nwieweit dabei wirklich die Bewegung auf zwei Drehungen (zwei Grade
er Freiheit) beschränkt ist; ferner ist zu untersuchen, wie sich die
age der Hauptachsen der Drehung für eine bestimmte Stellung des
elenkes verhält, und inwieweit sich diese Lage von Stellung zu Stellung
ndert.

Daß völlig kongruentes Gleiten unter breitem Flächenkontakt in
inem Sattelgelenk nicht möglich ist, ergibt sich aus den allgemeinen,
n ersten Teil dieses Buches erläuterten Bedingungen des kongruenten
leitens. Eine sichere Stellung und Führung könnte aber doch, bei
ikongruenten Gelenkflächen vorhanden sein, wenn stets minde-
tens in zwei annähernd senkrecht zueinander stehenden
rofilen die eine Gelenkfläche mit der anderen zusammen-
ele.

Nehmen wir an, die beiden Kreisbogen a c um den Mittelpunkt in 00
nd c d mit den Mittelpunkt $0_1 0_1$, die sich im Punkte b senkrecht kreuzen,
ien zwei solche Berührungsprofile. In Fig. 84 fällt das eine Profil
bc in die Bildfläche, das andere e b d verläuft in einer dazu senkrecht
tehenden Ebene, welche etwas von oben gesehen ist.

Wie müssen sich nun die beiden links und rechts von den beiden
rofilen gelegenen Gelenkkörper bewegen, und wie müssen ihre Ober-
lächen beschaffen sein, damit sie in den beiden Profilen auch ferner
n Berührung bleiben können?

Vor allem ist klar, daß jede Verschiebung des rechts gelegenen
örpers R an dem links gelegenen Körper L parallel der Ebene a b c
usgeschlossen ist, außer einer Drehung um eine Achse 00, welche senk-
echt zu dieser Ebene durch den Krümmungsmittelpunkt von a b c
eht, und bei welcher zwei in der Linie a b c sich berührende Profile
eider Körper sich in ihrer eigenen Fortsetzung bewegen. Ebenso ist
eicht einzusehen, daß jede Verschiebung von R an L parallel der
bene e b d, welche senkrecht steht zur Ebene a b c, ausgeschlossen ist
it Ausnahme einer Drehung um eine Achse $\overline{0\,0_1}$, welche senkrecht zur
bene des Profils e b d durch dessen Krümmungsmittelpunkt geht, bei
elcher Drehung die zwei Profile, die sich in der Linie e b d berühren,
ich in ihrer eigenen Fortsetzung bewegen. Es muß überhaupt jede trans-
atorische Bewegung zwischen R und L ausgeschlossen sein, da sich jede
ranslatorische Bewegung auf Translationsbewegungen in den Ebenen a b c
nd e b d zurückführen läßt, und da solche Bewegungen unmöglich sind.

Da nur bei den zwei obengenannten Drehungen eine Bewegung
er Profile in ihrer eigenen Fortsetzung stattfindet, so muß auch jede

Drehung um eine Achse, welche in der dritten, zu 00 und $\overline{0_1 0_1}$ senk
recht stehenden Hauptrichtung des Raumes verläuft, z. B. um ein
senkrecht zur Kreuzungsstelle der beiden Profile verlaufende Achs
unmöglich sein. Dagegen sind Bewegungen von R gegen L aus de
in Rede stehenden Ausgangsstellung heraus denkbar, welche sich au
einer Drehung um die Achse $\overline{00}$ und einer Drehung um die Achs
$\overline{0_1 0_1}$ in beliebiger Weise zusammensetzen.

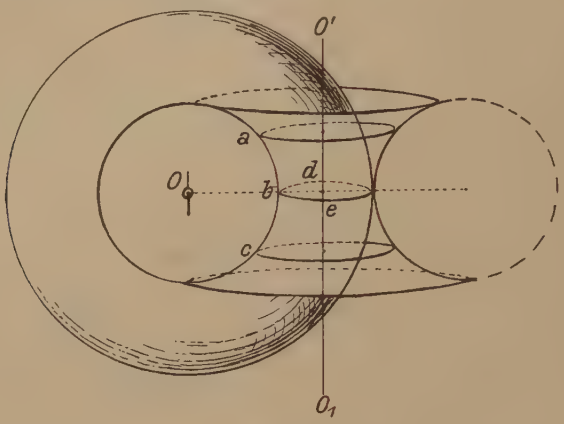


Fig. 84.

Bei der Drehung von R um die Achse $\overline{0_1 0_1}$ bewegen sich die in e b
zusammenstoßenden Profile in ihrer eigenen Fortsetzung. Die Profil
aber, welche sich in der Linie a b c berühren, rücken bei der Drehun
um $0 0_1$ auseinander. Das Profil von a b c von R kann dabei mit de
Oberfläche des gegenüberliegenden Körpers L nur dann in Berührun
bleiben, wenn diese eine Rotationsfläche um die Achse $\overline{0 0_1}$ mit der
Kreisbogen a b c als Erzeugungslinie ist. (Auch wenn man sich be
der Drehung um $\overline{0_1 0_1}$ R als ruhend, L als bewegt denkt, muß man fü
L dieselbe Begrenzungsfläche fordern, wenn dieselbe mit den Haupt
profilen a b c und e b d von R in vollkommener Berührung bleiben soll

Bei der Drehung von R um die Achse $\overline{00}$ bewegen sich die in a b
zusammentreffenden Profile in ihrer eigenen Fortsetzung; die Profil
e b d aber, welche sich in der Ausgangsstellung berühren, rücken aus
einander. Das Profil e b d von L kann dabei mit der Oberfläche de
gegenüberliegenden Körpers R nur dann in Berührung bleiben, wen
diese eine Rotationsfläche um die Achse $\overline{00}$ mit dem Kreisbogen e b
als Erzeugungslinie ist. (Auch wenn man sich bei der Drehung un
$\overline{00}$ R ruhend, L bewegt denkt, muß man für R die gleiche Begren
zungsfläche fordern, wenn dieselbe mit den Hauptprofilen a b c un
e b d von L in steter Berührung bleiben soll.)

Sollen also von der Ausgangsstellung aus beide Drehungen mög
lich sein, und soll die Bedingung erfüllt sein, daß die beiden Körpe
sich stets in zwei kreisförmigen, sich senkrecht kreuzenden, gegen

einander konvexen Profilen berühren, so müssen die Flächen, mit denen die beiden Körper aneinander gleiten, Rotationsflächen sein, wie sie erzeugt werden durch Drehung der beiden Hauptprofile um Achsen, welche jeweilen in der Ebene des betreffenden Hauptprofils liegen und durch den Krümmungsmittelpunkt des jeweiligen anderen Hauptprofils gehen. Jede der beiden Flächen ist eine Ringfläche, und zwar eine vollständige, wenn die Erzeugungslinie einen vollständigen Kreis darstellt. Der innerste Umfang der einen Ringfläche ist Erzeugungslinie für die zweite Ringfläche und umgekehrt. Die beiden Ringe sind miteinander verschränkt und berühren sich in der Weise, daß der innerste Umfang jedes Ringes eine bestimmte Längsstelle des anderen Ringes der Quere nach ringsherum umfaßt.

Man kann sich leicht aus Kork oder Ton etc. ein Modell herstellen, das aus zwei miteinander verschränkten Ringen besteht, von denen jeder die Lichtung des anderen am engsten Teil genau ausfüllt, und kann

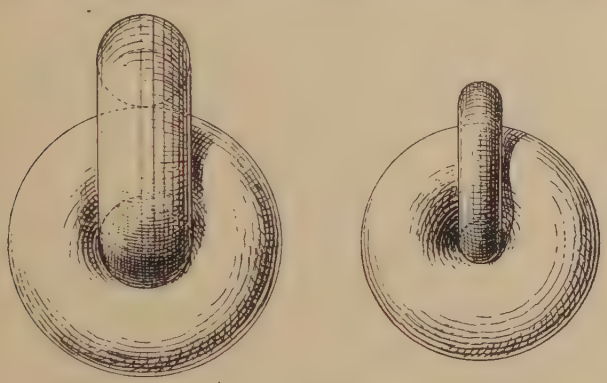


Fig. 85.

sich an demselben die Art der Berührung und der möglichen Drehungen klar machen. Ein rohes Modell erhält man auch schon dadurch, daß man den Daumen der einen Hand zwischen den Daumen und Zeigefinger der anderen Hand legt und nun beiderseits Daumen und Zeigefinger zusammenschließt.

Die Lichtungen der beiden Ringe brauchen natürlich nicht gleiche Weite zu haben. Es brauchen auch nur Teile von Ringflächen als Gleitungsflächen zweier Körper ausgebildet zu sein, damit zwischen ihnen Gleitung und Berührung nach dem angegebenen Prinzip stattfinden kann. Nur können naturgemäß nur Teile der inneren, der Ringlichtung zugewendeten Oberflächen der Ringe als Gleitflächen Verwendung finden, weil nur sie beide Sattelflächen sind und sich in zwei sich kreuzenden Profilen berühren.

Es kann also wirklich zwischen gegeneinanderstehenden sattelförmigen Flächen die Bedingung erfüllt sein, daß sie sich in jeder Stellung

zueinander in zwei senkrecht gekreuzten Profillinien berühren und aus dieser Stellung parallel zu zwei senkrecht zueinander stehenden Ebenen gegeneinander drehbar sind. Beide Sattelflächen müssen dafür innere Teile von Ringflächen sein; die Drehungen geschehen parallel den Hauptebenen der beiden Ringe. Der innerste engste Umfang jeder Ringfläche bleibt immer Berührungsprofil. So sind zwei Profillinien, je eine fest in einer der beiden Gelenkflächen, gegeben, welche sich stets rechtwinklig kreuzen und jederzeit mit der gegenüberliegenden Gelenkfläche, und zwar mit einem Querprofil der betreffenden Ringfläche, zusammenfallen; es trifft aber das engste Konkavprofil des einen Gelenkkörpers je nach der Stellung der Ringe auf ein anderes (konvexes) Querprofil des anderen Gelenkkörpers. Für jede neue Stellung der beiden Gelenkkörper zueinander gelten theoretisch genommen wieder die gleichen Bedingungen. Wenn aber nur Teile von Ringflächen verwendet werden, wie es im allgemeinen bei organischen Gelenken nicht anders sein kann, so findet die mögliche Exkursion bereits ihre Beschränkung, wenn sich die Mitte der einen Gelenkfläche dem Rande der anderen nähert, ganz abgesehen von der Hemmung durch die Gelenkkapsel und Gelenkbänder, und durch das Anstoßen der über die fortgesetzt gedachte Ringfläche hinausragenden Partien der Skelettstücke. Wenn die beiden Gelenkflächen sich nur noch zur Hälfte gegenüberstehen wird im allgemeinen Kraftschluß zwischen ihnen nicht mehr gut und sicher möglich sein.

Ein solches Sattelgelenk besitzt für jede Stellung nur zwei Grade der Freiheit. Drehungen parallel einer anderen Ebene als den beiden Ringebenen sind ausgeschlossen.

Diejenigen Sattelgelenke, welche den erörterten Bedingungen genügen und den denkbar besten Grad sicherer Führung und sicheren Kraftschlusses ermöglichen, sind also in Wirklichkeit Ring-Ringgelenke. Man kann sie als zweiachsige Gelenke mit zwei Graden der Freiheit der Bewegung (Drehung) bezeichnen, mit zwei jeweils senkrecht zueinander stehenden Drehungsebenen und zwei jeweils an entgegengesetzten Seiten der Gelenkfläche windschief zueinander stehenden Drehungsachsen. Man muß aber den Umstand wohl im Auge behalten, daß die genannten Bewegungsbedingungen zwar für jede bestimmte Ausgangsstellung gelten, daß aber mit jeder neuen Stellung auch die Lage und Richtung der einen oder der beiden Achsen eine andere ist. Dabei bleibt allerdings jede der beiden Achsen stets fest zu demjenigen der beiden Gelenkkörper, dessen Hauptringebene sie im Mittelpunkt des Ringes senkrecht schneidet, sie ändert ihre Lage und Richtung nur zu dem anderen Gelenkkörper.

Drehungen um andere als um die beiden Achsen sind theoretisch genommen unter Erhaltung der Berührung in zwei sich senkrecht kreuzenden Profilen der Gelenkflächen nicht möglich, wie bereits auseinandergesetzt worden ist. Die Plastizität des Gelenkknorpels wird allerdings einerseits eine etwas breitere Berührung, andererseits das Stattfinden von kleinen Drehungen um etwas abweichende Achsen, insbesondere

m eine zu den Berührungsprofilen in ihrem Schnittpunkt senkrecht ehende Achse möglich machen. Bänder, welche jederzeit gespannt leiben, können natürlich nicht vorhanden sein. Keine Längenände- ng würden nur solche Faserzüge erleiden, die sich zwischen Punkten er beiden Gelenkkörper ausspannen, in denen die festen Achsen der- lben deren Oberfläche schneiden. Solche Stellen kann es nicht geben, a die Achsen außerhalb der Gelenkkörper liegen, zu denen sie fest- ehen.

Hält man sich nun die entwicklungsmechanischen Verhält- isse bei der Gelenkbildung vor Augen, so wird man sich sagen müssen, aß im allgemeinen und so auch an der Basis des Daumenstrahls n so gut zwangschlüssiges Sattelgelenk mit nur zwei Graden der reiheit in Wirklichkeit nicht zustande kommen kann.

Ein Sattelgelenk wird im allgemeinen von zwei Muskelschlingen sp. von zwei Paaren von Muskelgruppen bedient sein, von denen des aus zwei an entgegengesetzten Seiten des Gelenkes annähernd ngs (vom einen Skelettstück zum anderen über das Gelenk hinüber) rlaufenden, zueinander antagonistischen Muskelgruppen besteht.

Bei der Ausbildung der beiden Krümmungen müssen die zwei Systeme n Muskeln mit ihren Antagonisten beteiligt gewesen sein. Besondere mstände geben den Entscheid dafür, daß die eine der beiden Krüm- ungen distalwärts, die andere proximalwärts gerichtet wird. Ein angschlüssiges Sattelgelenk obiger Art könnte aber nur entstehen d erhalten bleiben, wenn die beiden Muskelsysteme in jeder Stellung s Gelenkes mit den Ebenen der beiden für diese Stellung in Betracht mmenden Drehungen übereinstimmen würden, was nicht möglich ist. iehe darüber Weiteres unten S. 237 u. ff.)

5. Die Daumenmuskeln.

Fig. 84 zeigt übersichtlich, wie die Muskeln um den Daumen- rahl herum angeordnet sind. Das erste Metacarpale erscheint in der ichnung vollständig verkürzt; es befindet sich in starker Opposition.

In mittlerer Stellung des ersten Metacarpale zwischen maximaler pposition und vollkommener Reposition ist die größte Abduktion öglich. Aber sowohl in opponierter, als namentlich in reponierter ellung kann das Metacarpale ab- und adduziert werden. Für den aftvollen Zusammenschluß des ersten Metacarpale und der benach- rten Metacarpalia steht in dem Adductor pollicis und dem radialen opf des ersten Interosseus dorsalis eine sehr ansehnliche Muskulatur r Verfügung.

Der Adductor pollicis zieht bei seiner Kontraktion den Daumen- rahl (Metacarpale) gegen den zweiten, dritten oder vierten Strahl n; der radiale Kopf des Interosseus dorsalis I nähert ihn dem eiten Strahl. Die Antagonisten, welche den Daumenstrahl von den ei Nachbarstrahlen, namentlich dem zweiten und dritten entfernen, d der Abductor pollicis longus mit dem Extensor pollicis brevis und geringerem Maße der Abductor pollicis brevis. Letzterer Muskel

und der Abductor liegen sich mit ihren Ursprüngen nicht genau gegenüber an den Enden des Trapezbeinsattels, sondern beide entspringen mehr nach der volaren Seite hin, ziehen also das Daumenmetacarpale, namentlich wenn es reponiert ist, deutlich volarwärts. Nach Duchenne würde auch der Abductor pollicis longus mit dem Extensor pollicis brevis den ersten Mittelhandknochen volarwärts beugen. Doch handelt es sich hier wohl nicht um eine Bewegung nach der volaren Breitseite des Trapezbeins (unsere Opposition), sondern um eine solche nach dessen radialem Schmalrand (unsere Abduktion), ja auch etwas nach der dorsalen Breitseite des Trapezbeines hin. Diese beiden Muskeln sind also im Gegenteil

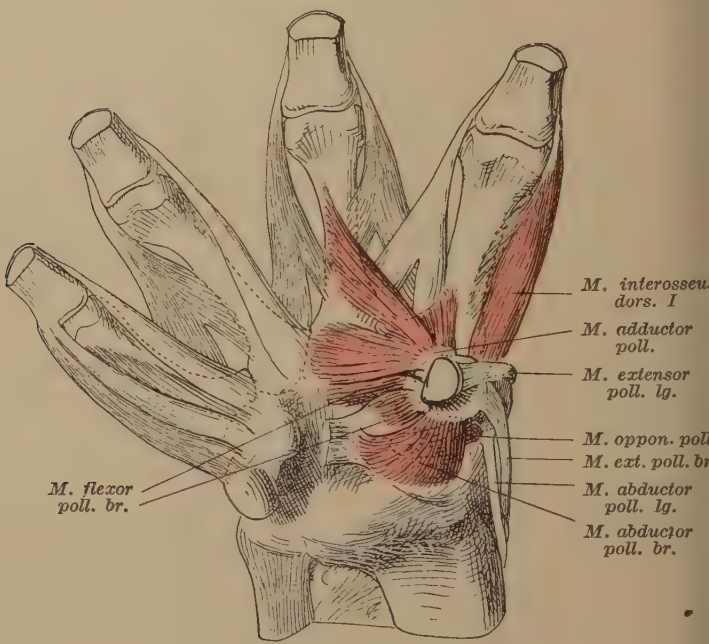


Fig. 86. Muskeln des Daumenstrahls.

Antagonisten gegenüber der Volar- (resp. Oppositions-) bewegung des Metacarpale; ganz besonders wichtig aber als Antagonist ist der Extensor pollicis longus. Während aber der Abductor pollicis longus und der Extensor brevis das erste Metacarpale abduzieren, ist der Extensor pollicis brevis ein deutlicher Adductor. Der Opponens wirkt ähnlich wie der Abductor brevis, doch ist seine abduzierende Wirkung (die auch von Duchenne anerkannt wird) geringer, sein Einfluß zur Volarbewegung relativ größer. (Unter Volar- und Dorsalbewegung verstehen wir dabei immer die Bewegung gegen die volare resp. dorsale Breitseite des Trapezbeins, also die Opposition und Reposition.) Daß der Opponens an der radialen Seite des ersten Metacarpale sich anheftet und der Flexor

revis der Hauptsache nach an der radialen Seite des Metacarpophalan-calgelenkes (resp. der ersten Phalanx), ermöglicht, daß die Oppositions-ewegung des Daumens sich regelmäßig mit etwelcher pronatorischer ängsdrehung des Metacarpale verbindet. Der Adductor, der namentlich eim Beginn der Oppositionsbewegung mitwirkt, hat keinen wesentlichen Einfluß zur Längsrotation des Metacarpale, weder im einen, noch im nderen Sinne. Die Wirkung des Flexor pollicis longus auf das . Metacarpale ist relativ gering (Duchenne) und besteht natürlich in olarbeugung. Dieser Muskel ist in Fig. 86 nicht berücksichtigt.

Neben der Umstellung des I. Metacarpale ist nun für die Gegenüber-ellung des Daumens besonders wichtig die Umstellung seiner rundphalanx.

Wie schon Duchenne richtig festgestellt hat, bewirken der Ad-uctor pollicis und der ulnare Endkopf des Flexor brevis an derselben ne Ablenkung gegen das II. Metacarpale hin, also eine Adduktion, er radiale Kopf des Flexor brevis aber und der Abductor brevis bewirken ne seitliche Bewegung im Sinne der Abduktion. Erstere verbindet ch mit supinatorischer, letztere mit pronatorischer Längsrotation. eide Muskelpaare aber beugen die Grundphalanx nach der Volarseite. on besonderer Bedeutung ist der radiale Endkopf des Flexor brevis, m die Volarseite des Daumens den übrigen Fingern zuzudrehen und ie Grundphalanx gegen den 5. Finger hin zu richten. Den Zusammen-ang dieser 4 Muskeln mit der Strecksehne des Daumens können wir ntgegen Duchenne nicht als typisch anerkennen.

Beugung und Streckung der ersteren und ganz besonders auch der weiten Phalanx sind am opponierten Daumen in erheblichem Umfang öglich. Dabei beruht die Bewegung der zweiten Phalanx in der Regel urchaus nur auf dem Spiel der langen Daumenmuskeln. Allerdings st die Exkursion in beiden Gelenken nach der Seite der Beugung be-chränkt und dafür nach der Seite der Streckung vergrößert, im Vergleich um Verhalten bei reponiertem Metacarpale. Der Grund dafür ist eicht einzusehen.

Sabatier (1704) hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, daß einige Fasern er Sehne des Abductor brevis sich nicht an der Grundphalanx anheften, sondern er Sehne des Extensor pollicis anschließen, und daß auch von der Sehne des Flexor revis (seines ulnaren Kopfes) eine aponeurotische Ausbreitung zur entsprechenden eite der Strecksehne gehe. Sömmering (1796) und Boyer erwähnten diese erbindungen ebenfalls. Bourgery hat sie in seinem Atlas abgebildet. Duchenne agt: „So oft ich die Muskeln des Daumenballens präpariert habe, konnte ich das orhandensein der von Sabatier entdeckten aponeurotischen Ausbreitungen onstatieren.“ Er hat außerdem gefunden, daß auch der laterale Kopf des Flexor revis mit der Strecksehne verbunden ist. Er legt auf diese Verbindungen ebenso roßes Gewicht wie auf die Verbindungen der Interossei und Lumbrikalmuskeln nit den Strecksehnen der langen Finger. Durch sie vermögen die kurzen Muskeln es Daumenballens (vom Opponens abgesehen) die letzte Phalanx des Daumens u strecken, was besonders wichtig sei in der Oppositionsstellung des Daumens, eil hier die Wirkung des Extensor longus auf die Endphalanx erschwert sei.

Viele neuere Autoren tun der genannten Verbindungen mit der Strecksehne eine Erwähnung. Henle (1871) bemerkt nur, daß ein oberflächlicher Teil des bductor brevis sehnig an die Strecksehne geht. Duchenne gibt in den Figg. 58 nd 59 seines berühmten Werkes so klare Abbildungen derselben, daß an ihrem orkommen kein Zweifel sein kann. Indessen haben wir uns überzeugt, daß der

Anschluß an die Strecksehne durchaus nicht immer so gut entwickelt ist. Es gibt Fälle, wo er vollkommen fehlt oder höchstens durch fast quere Fasern in der Nähe des Metacarpophalangealgelenkes gebildet ist, so daß beim Zug an den Muskeln nicht der geringste streckende Einfluß auf die gebeugte Endphalanx nachweisbar ist. Am häufigsten kommt es wohl vor, daß die am meisten dorsal am Gelenk vorbeigehenden Fasern des Abductor brevis in deutlich distalem Verlauf an die Strecksehne sich anschließen und bei ihrer Anspannung die gebeugte Endphalanx zu strecken vermögen. Mitunter gelangt eine sehnige Ausstrahlung des ulunaren Kopfes des Flexor brevis und dann erst weit distal zur Strecksehne. Der Abductor verläuft so stark quer, daß er auch wenn er in die Dorsalaponeurose ausstrahlt, kaum auf die Endphalanx einzuwirken vermag. Das von Duchenne abgebildete Verhalten stellt gewissermaßen einen extremen seltenen Fall dar.

ε) Die übrigen Carpo-Metakarpalgelenke und die zweite Handwurzelreihe.

Der von den übrigen Metacarpalia und der ersten Handwurzelreihe gebildete Komplex ist in sich ziemlich starr, trotz der Zusammensetzung aus vielen Einzelelementen. Es muß untersucht werden, wie die Festigung zustande kommt und in welchem Umfang und welcher Richtung etwa noch beschränkte Formveränderungen möglich sind. Es können sich an dem Komplex geltend machen:

a) Einflüsse zur Durchbiegung in der Längsrichtung in dorsovolaren Ebenen,

b) Einflüsse zur Biegung schräg nach der ulnaren oder radialen Seite hin,

c) Einflüsse zur Vermehrung oder Verminderung der Querkrümmung (Biegung in Querebenen), einer geringeren im Gebiet der ersten Handwurzelreihe, einer größeren im Bereiche der Metacarpaliaköpfchen,

d) Einflüsse zur Längstorsion, d. h. zur Drehung distaler Querschnittsebenen gegenüber parallelen proximalen Querschnittsebenen nach der einen oder anderen Richtung.

Die Längsbiegung kommt im allgemeinen dadurch zustande, daß distal, im Gebiet der Strahlen äußere Kräfte (oder Widerstände) wirken, im Intrakarpalgelenk aber die Weiterdrehung durch Knochenwiderstände und Bänder- oder Muskelspannung gehemmt wird. Der Bänder- oder Muskelzug stellt dann die Kraft dar, welche zu den beiden anderen Einwirkungen annähernd entgegengesetzt gerichtet ist. Wie äußere Einflüsse zur queren Abflachung der ersten Reihe oder des Metacarpus, oder zur Vermehrung der Querkrümmung und zur Zusammenschiebung von beiden Seiten her führen können, ist leicht verständlich, ebenso daß sich ein Teil der Wirkung der Muskeln, welche sich an den Finger ansetzen, auch auf die Metacarpalia überträgt und ihre Stellung zur II. Handwurzelreihe beeinflußt. Direkt wirkt auf das V. Metacarpale der Opponens dig. V. Indem diese Muskeln mit ihren Ursprüngen nicht wesentlich über die II. Handwurzelreihe zurückgreifen, kann sich der genannte Einfluß mit inneren Widerständen der zweiten Reihe und des Metacarpus (Knochen- und Bänderhemmung) ins Gleichgewicht setzen. Auch äußere Kräfte, welche auf verschiedene Strahlen rei-

seinandertreibend oder zusammenschiebend wirken, nehmen bloß die stigkeit des in Rede stehenden Skelettabschnittes allein und den iderstand allein der kurzen Muskeln der Hand in Anspruch.

Die Längsfugen zwischen den Elementen der zweiten eihe konvergieren nach der Vola hin; ferner weichen sie alle aus dem ngsverlauf distalerseits nach der Ulnarseite hin ab; letzteres ist am nigsten ausgesprochen an der Fuge seitlich vom Kopf des Capitatum d besonders stark zwischen dem Trapez- und dem Trapezoidbein.

Ich finde im allgemeinen an den eigentlichen Berührungsflächen n Gegensatz zu R. Fick) wenigstens im distalen Teile die dorsovolaren ofile ulnarwärts konkav, namentlich zwischen Trapezoidbein und Kopfin; zwischen Trapez- und Trapezoidbein ist die ulnarwärts gerichtete nkavität in der Längsrichtung deutlicher. Übrigens variieren diese rhältnisse im einzelnen.

Die Längsfugen zwischen den Basen der 4 ulnaren Metarpalia konvergieren ebenfalls nach der Vola, divergieren aber distalrts. Die queren basalen Endflächen der Metapalia verschmälern sich nach der Vola; die ößte dorsovolare Ausdehnung hat diejenige des . Metacarpale. Im allgemeinen finde ich sie in rsovolarer Richtung distalwärts konkav, mit inen Abweichungen, so am Proc. styloides s III. Metacarpale, an welchem natürlich eine ngekehrt gerichtete Krümmung ausgeprägt ist. ie sich das Capitatum zwischen die Basen des und IV. Metacarpale einfügt, wurde bereits erwähnt.

Fig. 87.

Querfugen. Im allgemeinen passen die basalen Flächen der Metarpalia ziemlich genau auf die Facetten der II. Handwurzelreihe; doch gen sie am II. und IV. und namentlich am V. Metacarpale eine etwas rkere Krümmung in dorsovolarer Richtung. In den quergestellten ennungsflächen erfolgt Parallelverschiebung verbunden mit geringen er etwas größeren Spuren von volarer, dorsaler, ulnarer oder radialer lenkung. Die größte Bewegung zeigt sich bei den dorsovolaren ngsdurchbiegungen der Carpo-Metakarpal-Gegend. Wo aber die eren Trennungsebenen nicht genau in einer Flucht liegen, müssen h die hier zusammentreffenden Elemente auch entlang den längsstellten Trennungsebenen an den Nachbarn verschieben und drehen. i querer Durchbiegung des Komplexes findet gleitende Verschiebung, entuell mit etwas Drehung und Abhebelung wesentlich in den Längsgen statt. Bei der Längstorsion endlich kommt es zu Verschiebung mit ehung wesentlich parallel den queren Trennungsebenen; in geringerem ade verschieben und drehen sich die Elemente aneinander auch in n Längsfugen. Bei der Längsbiegung nach den Handrändern haben auf der einen Seite des Komplexes Druckbeanspruchung und Zummenschiebung, auf der anderen Seite Zugbeanspruchung und Ausanderrücken der Elemente. Das Capitatum ist infolge seiner großen nge naturgemäß der eigentliche feste Kern des Komplexes, dem die chbarelemente in fester Verbindung angeschlossen sind.

Im allgemeinen laufen auf beiden Breitseiten überall **Bänder** ar nähernd quer über die Fugen hinüber. Sie sind stärker entwickel zwischen vorragenden Punkten; doch scheint die Faserrichtung so mod fiziert, daß die Verschiebung der seitlich vom Capitatum und der Basi des III. Metacarpale gelegenen Elemente nach der dorsalen und proximale Seite besonders gut gehemmt ist und außerdem die Dorsalablenkung de Metacarpalia gegenüber der zweiten Reihe.

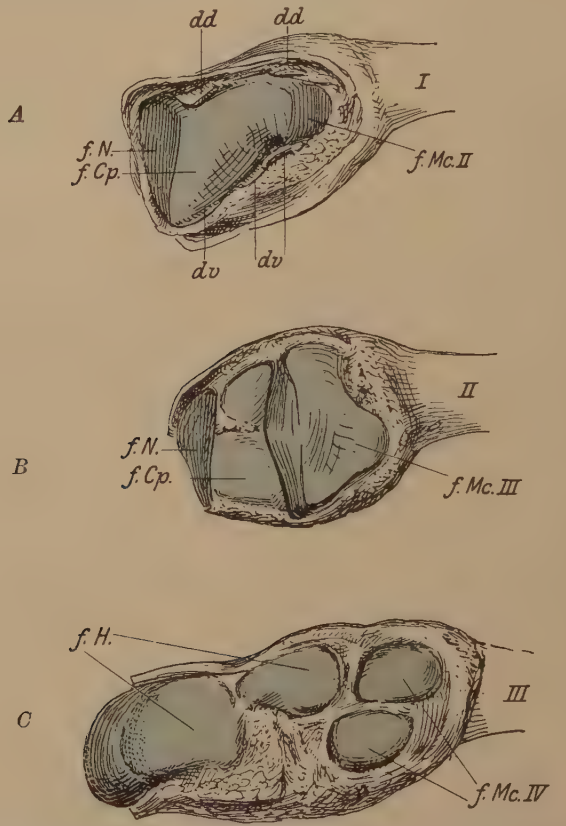


Fig. 88. *A* Trapezbein und Basis des I. Metacarpale, *B* Trapezoidbein und Ba des II. Metacarpale, *C* Capitatum und Basis des III. Metacarpale. — Alles von d Ulnarseite. *f. H.* bedeutet Facette für das Hamatum etc.

Dabei ist gut verständlich, daß die Elemente gegen den Rand d Komplexes hin, indem sie nur einseitig befestigt sind, etwas beweglich werden (Trapezbein, Metacarpalia).

Was die Bandverbindungen zwischen den Elementen d zweiten Reihe und den 4 ulnaren Metacarpalia anlangt, kommen Ligamenta dorsalia, volaria, marginalia und interossea in B tracht.

Zu den Ligg. marginalia können wir auch den distalen Teil der Bandverbindungen zwischen den Basen der Metacarpalia, welcher distalwärts von den interbasalen Gelenkspalten gelegen ist, hinzurechnen. Gewöhnlich faßt man sie mit den volar und dorsal von diesen Gelenkspalten gelegenen Bändern als Lig. intermetacarpalia basalia zusammen.

Über die Anordnung und Wirkungsweise der Ligg. interossea geben uns Sägeschnitte durch den geschlossenen Teil des Komplexes, und gibt namentlich eine vollständige Zerlegung desselben in seine Elemente Aufschluß. Die Sägeschnitte zeigen in verschiedenen Niveaus ein verschiedenes Bild, indem die Ligg. interossea im allgemeinen je nur auf einen Teil der Fugen beschränkt sind und sich an den volaren oder dorsalen Bandapparat anschließen. R. Fick hat sie genauer besprochen. Ein Lig. interosseum ist nach ihm zwischen dem Trapez- und dem Trapezoidbein im distalen und volaren Teil der Fuge vorhanden, ein stärkeres in der ganzen Länge der Fuge oberhalb einer rechteckigen Gelenkspalte zwischen Trapezoidbein und Kopfbein (mitunter durch eine kleine obere Gelenkspalte, die als Nebenspalte des mittleren Carpometakarpalgelenkes erscheint, eine Strecke weit auch von dem dorsalen Bandapparat abgetrennt). Zwischen Capitatum und Hamatum befindet sich das stärkste der 3 Ligg. interossea, das sich an den volaren Bandapparat anschließt und namentlich distalerseits, manchmal aber auch ganz am proximalen Rand der genannten Elemente weit gegen das Dorsum hinaufreicht.

Offenbar variieren aber die Verhältnisse ziemlich beträchtlich, wie sich aus dem Vergleich mit nebenstehenden Abbildungen ergibt.

In Fig. 88, A, B, C sind das Trapezbein, das Trapezoidbein und das Kopfbein mit den von ihnen getragenen Metacarpalia jeweils von der ulnaren Seite her dargestellt, nach glatter Durchschneidung ihrer Verbindung mit den ulnar daneben gelegenen Elementen. Man sieht in A zwischen Trapez- und Trapezoidbein und zwischen dem Trapezbein und der Basis des III. Metacarpale, dicht an der dorsalen und volaren Kapsel, nach dem Gelenkspalt zu aber noch jenseits der Knorpelränder diskrete, rein sehnige Bänder d d und d v verlaufen. An der Volarseite schließt sich daran ein mächtiger Faserfilz, der sich breit an der Volarseite der einander gegenüberstehenden Knochen anheftet. Zum Teil handelt es sich hier um das Faserpolster am Grund des Kanals für die Sehne des Flexor carpi radialis.

Eine besonders mächtige Fasermasse liegt ventral vor der Fuge zwischen dem Kopfbein und dem Hackenbein (Fig. 88 C). In der distalen Hälfte dringt sie tief zwischen die beiden Knochen ein und zeigt hier besonders straffe, zum Hamatum teils dorsalwärts, teils volarwärts verlaufende Züge. Eine lockere Verbindungsbrücke zieht dieser Stelle ungefähr in der Mitte von der Dorsalseite her entgegen, ohne sie ganz zu erreichen.

Mehr gleichmäßig verdickt ist die Kapsel dorsal und volar von der Fuge zwischen dem Trapezoidbein und dem Capitatum (und dorsal von der Fuge zwischen dem II. und III. Metacarpale). Besonders dick, wenn auch nicht besonders straff sind die distalen Verbindungen zwischen den Basen des II. und III. und des III. und IV. Metacarpale.

Die Anordnung der dorsalen Bänder ergibt sich aus den Figg. 89 und 110, diejenige der volaren aus den Figg. 90, 111 u. 112. In all diesen Abbildungen sind auch die marginalen Bänder zu erkennen. Die nähere Bezeichnung der Bänder ergibt sich ganz naturgemäß aus ihrer Anheftung. An der Dorsalseite fehlen längere Bänder, welche mehr als eine

Fuge überspringen. An der Volarseite ist die Möglichkeit zur Entwick lung solcher Bänder durch das Vorragen der Randteile bedingt. We vom gleichen Element der zweiten Reihe Bänder zu verschiedene Metacarpalia gehen, kann leicht die nähere Bezeichnung der Insertions stelle beigefügt werden, z. B. Lig. hamato-metacarpeum dorsale ac metacarpale V, ad metacarpale IV.

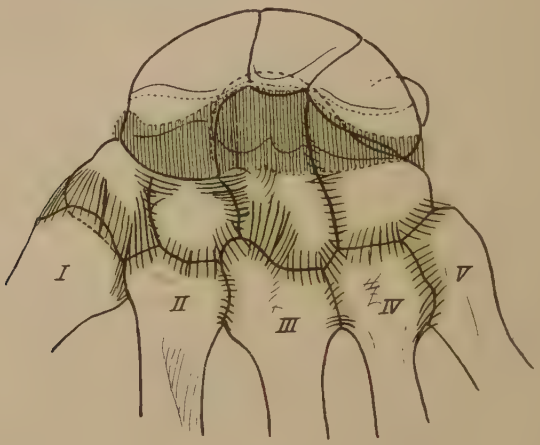


Fig. 89. Bänder der zweiten Reihe und der Metacarpusbasis, Dorsalseite.

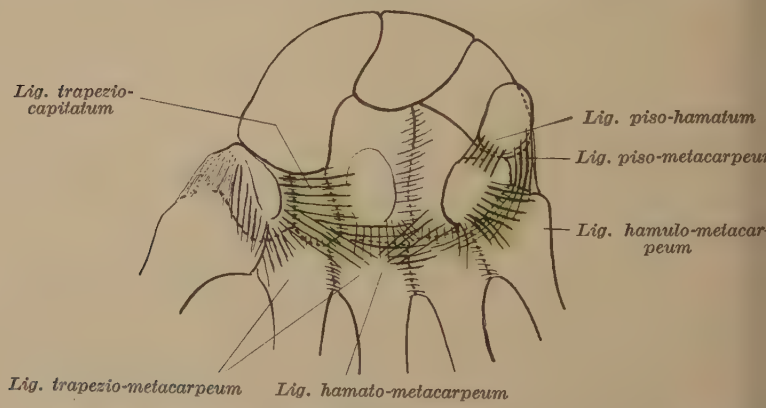


Fig. 90. Tiefe und oberflächliche Bänder der zweiten Reihe und der Metacarpus basis, Volarseite.

Der volare Bandapparat erscheint mächtiger entwickelt scho wegen der hier vorhandenen langen Bänder, besonders aber, wenn ma die sog. Ligg. interossea hinzurechnet, welche im Grund nichts andere sind als weiter in die Tiefe greifende, in volare Rinnen zwischen de Handwurzelknochen eingelagerte kurze Bänder, so namentlich di

ächtige Bandmasse in der volaren Rinne zwischen dem Capitatum und em Hamatum.

Zu den langen volaren Bändern gehört (Figg. 90 und 112) is Lig. trapezio-capitatum, welches mit seinem Ansatz am rapezbein das Faserpolster für die Sehne des Flexor carpi radialis lden hilft. Distalerseits schließen sich ihm meist Fasern an, welche s Lig. trapezio-hamatum bis zur Basis des Hamulus am Hamatum hen.

Weitere lange volare Bänder sind das Lig. trapezio-metatrpeum volare ad metacarpale III und das Lig. hamatoetacarpeum volare ad metacarpale III. Nur eine Fuge überringen die Bänder vom Hamulus zu den Basen des V. und IV. Metarpale. Sie liegen oberflächlich und überkreuzen die Ausstrahlungen r vom Erbsenbein zu den Basen der gleichen Metacarpalia hinziehenn Fasern (Lig. pisohamatum s. u.).

Die **Sehnen** der vom Vorderarm herkommenden „Handwurzelzuger" und „Handwurzelstrecker" erreichen in Wirklichkeit die eite Handwurzelreihe und meist sogar den Metacarpus. Dies gilt für e Extensores carpi radiales longus und brevis, die sich an der Basis des . und III. Metacarpale anheften, für den Extensor carpi ulnaris, der ir Basis (Tuberosität) des V. Metacarpale geht und für den Flexor rpi radialis an der Volarseite. Es gilt aber auch für den Flexor rpi ulnaris, wenigstens dann, wenn man das Erbsenbein als eine inschaltung in seine Sehne und die vom Erbsenbein distalwärts ziehenden änder als die eigentlichen Enden der Sehne betrachtet. In funktioneller insicht ist dies gerechtfertigt, indem das Erbsenbein in der Richtung s Muskelzuges auf dem Triquetrum verschieblich ist, also die Forttzung des Zuges auf die distalwärts angeschlossenen Bänder vermittelt, enn auch unter Umständen mit Abänderung der Zugrichtung. Betrachtet an jene Bänder als Fortsetzung der Muskelsehne, so wird letztere urch das Erbsenbein wie ein Steg hochgehalten und mehr oder weniger usgebogen. Der Hebelarm für die Drehungseinwirkung auf das Radiorpalgelenk und die folgenden Gelenke wird dadurch vergrößert. Die tegwirkung ist besonders deutlich bei dorsalwärts abgelenkter Hand. er Druck auf die erste Handwurzelreihe ist dabei auf eine relativ leine Stelle eingeschränkt, die Reibung verkleinert (vgl. das Verhalten er Kniescheibe). Bei volarwärts abgelenkter Hand ist die Verbindung es Pisiforme mit dem Triquetrum fest genug, um beide Knochen annander festzuhalten, wobei wohl auch der Luftdruck mitwirkt. In hnlicher Weise hält das Erbsenbein auch bei radial- oder ulnarwärts bgelenkter Hand den Zugstrang in seiner Lage zur Volarseite des Triuetrum einigermaßen fest, trotz der Änderung, die es der Zugrichtung ufzwingt.

Nicht unwichtig ist übrigens, daß durch das Vorragen des Pisiforme it der Faszie an seiner radialen Seite unter der Faszie und dem M. palaris ein entlasteter Raum gebildet wird, in welchem ein Nerv und amentlich größere Gefäße geschützt eingelagert sein können.

Die vom Pisiforme distalwärts weitergehenden Stränge, welche als indirekte Fortsetzungen der Muskelsehne zur zweiten Handwurzelreihe und zum Metacarpus betrachtet werden können, sind:

a) Das Lig. pisohamatum.

b) Das Lig. pisometacarpeum zum V. (und auch zum IV., ja zum III.) Metacarpale (s. o.). Schon Duchenne hat hervorgehoben, daß die Kontraktion des Flexor carpi ulnaris eine Volarablenkung des V. Metacarpale bewirkt.

c) Das Lig. pisocapitatum, welches sich mehr basal am Pisiforme der Kapsel des Pisiformegelenkes anschließt. Die letzten beiden Faserzüge übernehmen vorzugsweise bei der ulnarflektierten Hand die Weiterleitung des Sehnenzuges; das Lig. pisohamatum und der Strang zum V. Metacarpale liegen in der Zugrichtung bei gestreckter oder radialflektierter Hand.

Über die morphologische Bedeutung des Pisiforme haben wir uns hier nicht auszusprechen.

Genauere Beachtung verdient auch die Sehne des Flexor carpi radialis.

Sie verläuft in einem besonderen engen Kanal in der radialen Wurzel des Lig. carpi transversum dicht volar an der Tuberositas o. navicularis und ulnar an der Tuberositas des Trapezbeins. Letztere hat einen distalwärts und leicht ulnarwärts nach dem II. Metacarpus hin gerichteten Verlauf. An letzterem, an der radialen Partie des volaren Randes seiner Basis heftet sich die Sehne an; mitunter strahlen Fasern auch zur Basis des III. Metacarpale. Die Wand des Kanals im Lig. carpi transversum ist faserknorplig gepolstert. Die Sehne ist von ihr natürlich abgespalten (Sehnenscheide).

Die beiden Ursprungsschenkel des Lig. carpi transversum heften sich durch Vermittlung dieses Faserpolsters an das Trapezbein und Naviculare. Vom tiefen Ursprungsschenkel geht aber eine Faserung oberflächlich an den volaren Bändern bis gegen das Capitatum.

(Über die Bedeutung der Einwirkung des Flexor carpi ulnaris und des Flexor carpi radialis auf die erste Handwurzelreihe s. u. bei den Handgelenken.)

D. Das Handgelenk.

Vorbemerkung.

Orientierung über die Stellungen und Bewegungen im Handgelenk. Hilfsmittel der Untersuchung.

Untersuchung am Lebenden. Wir können am Lebenden das Ulnaköpfchen und das untere Ende des Radius abtasten und quer zum Vorderarm eine Ebene durch diese Teile gelegt denken. Eine zweite Ebene, welche quer zur Hand durch die zweite Handwurzelreihe geht, ist bestimmt durch den am Dorsum vorspringenden Endteil des Capitatum, den ulnaren Rand des Hamatum unmittelbar proximal von der

orspringenden Basis des V. Metacarpale und durch den radialen Rand es Trapezbeins, den man zwischen den beiden langen Strecksehnen des aumens dicht proximal von der Basis des I. Metacarpale abtasten kann. s ist lehrreich, die Stellungsänderungen dieser beiden Querebenen ueinander zu verfolgen. Der dazwischen liegende Bezirk entspricht ungefähr dem gemeinsamen Handgelenk. Ein genaueres Studium lehrt uch Teile der ersten Handwurzelreihe, das Pisiforme, den Höcker des Kaviculare und bei Volarstellung der Hand das am Dorsum mit dem opf des Capitatum vortretende Lunatum erkennen. Das Verhalten er beiden Hauptgelenke und der zwischeninne liegenden ersten Handurzelreihe bei den Bewegungen im gemeinsamen Handgelenk läßt sich m Lebenden so weit verfolgen, daß die Übereinstimmung mit dem, was as Bänderpräparat lehrt, konstatiert werden kann.

Untersuchung des Bänderpräparates. Es empfiehlt sich, den anzen Bandapparat der Handwurzel und ihrer Verbindung mit dem orderarm mit Einschluß des unteren Radioulnargelenkes im Zusammenang zu präparieren. Zum Schluß kann man die dünnsten Teile der apsel am Dorsum entfernen. Ein so hergestelltes Bänderpräparat ird nun zum Studium der im Handgelenk stattfindenden Bewegungen enutzt, wobei aber stets wieder die Verhältnisse der Knochen und elenkflächen am mazerierten Skelett genau zu berücksichtigen sind. ie Bewegungen können in der Weise ausgeführt werden, daß man den orderarm (Radius) feststellt und die Hand jenseits des Intracarpalelenkes packt und ihm gegenüber bewegt, oder so, daß man die Hand istal vom Intracarpalgelenk fixiert und den Vorderarm bewegt. In leicher Weise verschieden sind ja auch die Bedingungen beim Lebenden.

Bei der aktiven Bewegung der freien Hand am Lebenden durch die uskeln handelt es sich immer um Kräfte, welche jenseits des Intracarpalgelenkes der Hand angreifen, gegen das Ende des Vorderarmes in wirken und neben der drehenden Komponente eine erhebliche Komponente haben, die als Druck gegen die Endfläche des Radius wirkt. iese Kräfte sind am Präparat leicht in ihrer Wirkung auf die Handelenke nachzuahmen. Höchstens die direkte Nebenwirkung des Zuges es M. flexor carpis ulnaris und radialis auf die erste Handwurzelreihe ällt dabei aus. Wir glauben aber nicht, daß die am Präparat unter achahmung des Muskelzuges herbeigeführten Bewegungen und Stelungsänderungen der Elemente der Handwurzel zueinander und zum orderarm wesentlich verschieden sind von denjenigen, welche bei der reien Bewegung der Hand am Lebenden zustande kommen oder von enjenigen, welche man an einem Muskelpräparat unter Anziehung der uskeln herbeiführen kann.

Gefrierschnitte von Leichenhänden, die man vor dem Gerieren in bestimmte Stellungen gebracht hat, oder Rekonstruktionen on präparierten Händen, die man zur genauen Feststellung der Lage er Knochen nach dem Gefrieren eingegipst, dann zerlegt und nach der ipsform wieder zusammengefügt hat (H. Virchow), geben die Verältnisse beim Lebenden kaum getreuer wieder als man sie am Bänderräparat unter Nachahmung des Muskelzuges herbeiführen kann. Vir-

chows Methode hat nur den Vorteil, daß bestimmte Stellunge sicherer festgehalten und bequemer untersucht werden können.

Röntgenbilder, die bei möglichst parallelem Strahlengang her gestellt sind, müssen für das Studium der Stellungen und Bewegunge im Handgelenk offenbar von besonderem Wert sein. Doch geben auc sie nicht über alles Auskunft und sind oft schwer richtig zu lesen. Si sind nur bei Dorsal- und Volarprojektion genügend klar und instruktiv Bei Projektion nach der radialen oder ulnaren Seite hin ist ihre Deutun viel schwieriger und zum Teil überhaupt nicht in zuverlässiger Weis möglich, selbst für den Geübten. Auch kommen bekanntlich die Gelenk knorpel nicht oder nur andeutungsweise zur Darstellung. Man muß anerkennen, daß das Studium der Röntgenbilder zur genaueren Er örterung der Bewegung in den Handgelenken einen mächtigen Anstoß gegeben hat. Auch ist die Demonstration der vor sich gehenden Be wegung am Röntgenapparate sehr anschaulich und instruktiv. Tat sächlich aber hat das Röntgenverfahren bis jetzt über die Bewegun in den Handgelenken viel Neues im Gegensatz zu dem, was die direkt Beobachtung am Bänderpräparat lehrt, nicht erbracht. Die folgend Darstellung, die ich in den Hauptzügen längst vertreten habe, gründe sich im wesentlichen auf die eigene Untersuchung von Bänderpräparate und auf das, was man an der Hand des Lebenden direkt beobachten kann

α) Das große Intrakarpalgelenk (zweites oder distales Handgelenk, Interkarpalgelenk der Autoren).

1. Gelenkkörper und Gelenkflächen.

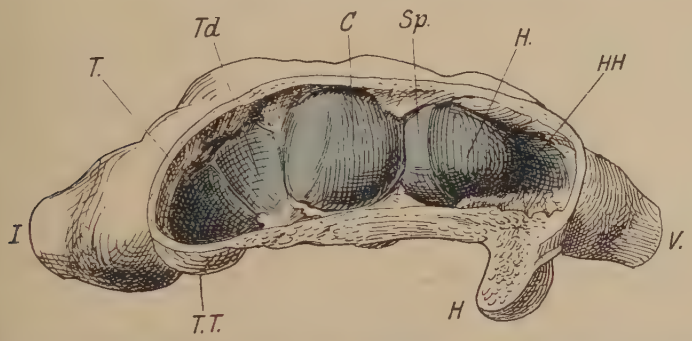
Im großen Intrakarpalgelenk artikulieren die Knochen der erste Handwurzelreihe (mit Ausnahme des Erbsenbeins) mit der zweite Handwurzelreihe. Von der Hauptgelenkspalte zwischen den beide Handwurzelreihen gehen Nebenspalten aus, welche zwischen die einzelne Elemente der beiden Reihen ein Stück weit eindringen. Schon obe wurde darauf hingewiesen, wie die proximale Fläche der zweite Reihe einen wellenförmigen Verlauf nimmt vom radialen zum ulnare Rand der Handwurzel. Der erste Wellenberg, vom Ulnarrand an ge rechnet, wird durch das Hamatum und Capitatum gebildet. Von de ulnaren Seite aus erhebt er sich nur allmählich proximalwärts; der an meisten nach dem Vorderarm hin vorspringende Gipfel wird vom Kopf bein gebildet. Der radiale Absturz der Welle (Radialseite des Capitatum ist steil, annähernd mit einer longitudinalen Dorsovolarebene zusammen fallend, doch radialwärts überhängend. Es folgt als Wellental de scharfe proximale Einschnitt zwischen dem Capitatum und den Mult angulis. Die proximale, zugleich ulnarwärts gewendete Begrenzung de beiden Multangula gleicht dem sanften Anstieg einer zweiten Welle.

Der von der zweiten Reihe gebildete proximalwärts ragende Welle gipfel zeigt neben der radioulnaren asymmetrischen Konvexität ein

undung von der dorsalen zur volaren Seite im Bereich der überknor-elten Gelenkfläche.

Die Gelenkfläche des Capitatum greift um die proximale Rundung des pfes herum nur wenig auf die volare Seite über, und die radioulnare Krümmung an diesem volaren Teil der Gelenkfläche nur gering. Die dem Hamatum angelossene Seite des Capitatum ist fast eben und bis über die Mitte hinaus in der nzen Breite, im distalen Teil nur entlang dem dorsalen Rand als Gelenkfläche erknorpelt. (Fig. 88.)

An der Dorsalseite des Capitatum erstreckt sich die Gelenkfläche des Kopfes zur Mitte. Ihre Krümmung ist in dorsovolaren Längsebenen bis nahe zum de gut ausgeprägt; das letzte Stück der Gelenkfläche biegt dorsalwärts auf. e dem Naviculare zugewendete Seite des Kopfes geht in allmählicher Rundung die dorsale resp. proximodorsale Fläche des Kopfes über, ist also auch quer r Hand konvex. Mit der Volarseite des Kopfes bildet sie eine fast rechtwinklige nte. Die Gelenkfläche setzt sich an der radialen Seite unter Verschmälerung zum dorsalen Teil des Trapezoidbeines und im volaren Teil der Zusammenschluß-



g. 91. Intrakarpalgelenk, distaler Gelenkkörper. *T* Trapezbein, *Td* Trapezoidin, *C* Capitatum. *H* Hamatum, *Sp* seine Sperrfläche, *HH* seine Hohlkehle, *H* sein Hamulus, *TT* Tuberositas des Trapezbeines.

elle des Capitatums mit diesem Knochen bis zum distalen Ende des Capitatum rt (Kommunikation des Intrakarpalgelenkes mit dem mittleren Carpo-Metarpalgelenk). Entsprechend dem am meisten proximalwärts ragenden dorsolaren Profil des Wellengipfels zeigt das Capitatum mitunter eine flache First, elche bei gewissen mittleren Stellungen des Gelenkes der Grenze zwischen Navilare und Lunatum entspricht und an der Dorsalseite des Kopfes radialwärts weichend ausläuft. Das Lunatum ragt distalerseits gegenüber dem Triquetrum, as Hamatum proximalerseits gegenüber dem Capitatum etwas vor, so daß den einander zugewendeten Rändern des Lunatum und Hamatum schmale itliche Facetten freistehen, die unter Umständen (Ulnarablenkung der Hand) feinander treffen und Sperrflächen darstellen.

Die zum größeren Teil, angrenzend an das Capitatum, kuppelrmig gewölbte proximale Gelenkfläche des Hamatum biegt am lnaren und anschließenden dorsalen Rand allmählich um, so daß eine ichte Hohlkehle gebildet wird, welche den konvexen Teil ulnarerseits nd eine Strecke weit anschließend dorsalerseits begrenzt und umreist. Dieselbe erstreckt sich nach der Vola zu bis an die proximale eite der Basis des Hamulus (HH, Fig. 91).

Die zweite Handwurzelreihe bildet also in der Mitte mit ihrem Wellenberg einen in die erste Handwurzelreihe einspringenden Kopf mit doppelt konvex gekrümmter Gelenkfläche. Daran schließt sich radialerseits ein umfänglicher, von den Multangulis gebildeter pfannenartiger radialer Randteil, der ebenfalls eine doppelte, aber proximalwärts konkave Krümmung aufweist, und andererseits ein sehr wenig umfänglicher, hohlkehlenartiger, teilweise mehr oder weniger sattelförmiger ulnarer Randteil. Wenn wir von den Randteilen absehen, so ist im übrigen die ganze Gelenkfläche in erster Annäherung eine Rotationsfläche, deren Achse quer zur Längsrichtung des starren Abschnittes des Handskelettes und annähernd in der Hauptebene der Hand von dem radialen zum ulnaren Rand verläuft. Die Erzeugungsachse dieser Fläche liegt am radialen Rand proximalwärts von den Multangula, schneidet dann die Gelenkfläche an der Seite des Capitatum, geht durch die Mitte des Kopfes dieses Skelettstückes und verläßt die zweite Handwurzelreihe am ulnaren Rand in der Gegend des ulnaren Endes der Gelenkfläche. Die mittlere, doppelt konvexe Wölbung der letzteren liegt proximalwärts, die proximale Gelenkfläche der Multangula mit ihrer umgekehrt gerichteten Krümmung liegt distalwärts von der Achse.

Die distale Gelenkfläche der ersten Handwurzelreihe steht mit dieser Fläche in ziemlich ausgiebiger Berührung; sie ist in der Mitte pfannenförmig ausgehöhlt, am radialen und ulnaren Ende doppelt konvex gekrümmt. Indem aber an dem radialen, konvexen Bezirk die Krümmung dieser Fläche in dorsovolarer Richtung eine stärkere ist als an dem gegenüberliegenden Bezirk der zweiten Reihe, klaffen die Gelenkflächen hier in der Mittelstellung des Gelenkes dorsalwärts und volarwärts von einer Stelle des Kontaktes an auseinander; dies ist in besonders auffälliger Weise der Fall zwischen dem Naviculare und den Multangula.

Auf Grund der Betrachtung der Gelenkflächen möchte man zu der Vermutung kommen, daß im Intrakarpalgelenk vor allem Drehungen des starren Teiles der Hand gegenüber der ersten Handwurzelreihe nach der dorsalen und volaren Seite hin möglich sind und daß sie annähernd um die Achse derjenigen Rotationsfläche stattfinden, die am besten mit der proximalen Gelenkfläche der zweiten Reihe zusammenfällt. Das Gelenk würde demnach annähernd einem Ginglymus entsprechen und so ist es auch von den meisten Autoren aufgefaßt worden. Dementsprechend müßte, der allgemeinen Regel gemäß, an denjenigen Teilen der Gelenkflächen, welche eine dorsovolare Konvexität zeigen, die Ausdehnung im Linearmaß und Bogenwert eine größere sein als an den gegenüberstehenden pfannenförmigen Teilen. Dies wird durch die Untersuchung bestätigt (s. die Figg. 62, 64 u. 79). Auch zeigt sich, daß die Kapseln und Bänder, welche die Gelenkspalte überbrücken, in der Mittelstellung in longitudinaler Richtung an der Volar- und Dorsalseite schlaff, an den Schmalrändern aber besser gespannt sind. Ein eigentliches, straffer gespanntes Seitenband ist allerdings nur am radialen Rand zwischen dem Trapezbein und dem Höcker des Naviculare vorhanden. Ich bezeichne dieses Band als Lig. navi-trapezium marginale.

Eine genauere Untersuchung ergibt freilich, daß die Abweichungen der proximalen Gelenkfläche der zweiten Reihe von einer Rotationsfläche, auch abgesehen vom ulnaren Randteil, nicht ganz unerhebliche sind. Zu einer Achse, welche radioulnar durch die Mitte des Kopfbeinkopfes geht, paßt wohl ziemlich genau die Gelenkfläche des letzteren; mit Bezug auf die Gelenkfläche der Multangula aber liegt diese Achse zu weit dorsal und distal und für den ulnaren Teil der proximalen Wölbung des Hamatum zu weit proximal (und volar). Eine Gerade aber, welche radialerseits mehr proximal, ulnarerseits mehr distal liegt, und ulnarerseits mehr dorsalwärts, radialerseits mehr volarwärts heraustritt, paßt zwar besser als Achse für die Wölbung des Hamatum und etwa noch für den ulnaren, in dorsovolarer Richtung flacheren Teil der Wölbung des Kopfbeins, aber nicht zur Radialseite des Capitatum; auch liegt sie mit Bezug auf die proximale Gelenkfläche der Multangula volar- und distalwärts von den Mittelpunkten der dorsovolaren Krümmung. Eine Gerade endlich, welche als Erzeugungsachse zu dem radialen Teil der proximalen Gelenkfläche der zweiten Reihe angesehen werden könnte, paßt nicht recht zur Mitte der Wölbung des Kopfbeins und namentlich nicht zum ulnaren Teil der Gelenkfläche; sie liegt am ulnaren Rand zu weit volar und proximal.

Andererseits ist die entgegenstehende distale Gelenkfläche der ersten Reihe nichts weniger als genau kongruent; in einer Mittelstellung sehen wir überall ein Klaffen zwischen den beiden Gelenkflächen nach den Rändern hin; besonders stark ist dasselbe dorsaler- und volarerseits in den Seitenteilen des Gelenkes; am auffälligsten ist die Inkongruenz der Gelenkflächen des Naviculare und der Multangula.

Die Inkongruenz ist derart, daß auch ein geringes Drehgleiten der ersten und der zweiten Reihe nach der radialen oder ulnaren Seite entlang ihrer mittleren Wölbung möglich ist, namentlich unter der Voraussetzung einer gewissen Formveränderlichkeit der gegliederten ersten Reihe. Wenn auf diese Weise ein besserer Schluß an der radialen oder an der ulnaren Seite des Gelenkes zustande kommen kann, so muß doch dafür zugleich an der anderen Seite die Inkongruenz bedeutender werden, unter Umständen in einer Weise, daß dadurch die Dorsovolarbewegung bei vollkommener Starrheit der ersten Reihe verhindert wird. Man muß erwarten, daß zwar Dorsal- und Volardrehungen bei diesen verschiedenen Arten des Zusammenschlusses zustande kommen können, daß sie aber um etwas verschiedene und vielleicht während der Bewegung selbst wandernde Achsen vor sich gehen, und daß kaum bei einer dieser Bewegungen die erste Reihe vollständig unverändert in ihrer Form bleiben kann. Für den Grundteil der Hand kann also die erste Reihe sehr wohl ein in seiner Form mehr oder weniger veränderliches Polster darstellen, für das ganze gemeinsame Handgelenk aber wie ein zwischen Vorderarm und Grundteil verschieblich eingeschobener, gegliederter, formveränderlicher knöcherner Meniscus sich verhalten.

2. Die Radial-Ulnarbewegung im Intrakarpalgelenk.

Der mittlere Teil der intrakarpalen Trennungsfläche, der dem Kopfbeinköpfchen und angrenzenden Abschnitt des Dreieckbeins entspricht, zeigt eine ziemlich regelmäßige radioulnare Krümmung mit proximalwärts gerichteter Konvexität. Ein Drehgleiten der zweiten Handwurzelreihe an der ersten entlang dieser Fläche muß zur Radial- resp. Ulnarablenkung der Hand führen, ist aber nur möglich, wenn das Naviculare nicht vollkommen starr mit dem Lunatum verbunden ist. Es stellt sich ja bei der Radialablenkung der Hand, bei welcher das Capitatum an der von der ersten Reihe gebildeten Pfanne ulnarwärts gleitet, den proximalwärts drängenden Multangulis wie ein Sperrzahn entgegen und läßt die Bewegung nur insofern zu, als es mit seinem Ende nach der Vola zu proximal- und radialwärts ausweichen kann. Bei der Ulnarablenkung gleitet der Kopfbeinkopf radialwärts; die Multangula gehen distalwärts; durch ihre Bandverbindung mit dem Naviculare wird die Spitze des Naviculare mitgenommen; letzteres muß gegenüber dem Lunatum mehr längsgestellt werden. Der proximale Teil des Naviculare, der radialerseits neben dem Capitatum liegt, wird, wenn die proximale Wölbung des letzteren in der Führung des Lunatum gegen ihn hingleitet, etwas radialwärts gedrängt und vom Lunatum unter Dehnung der Verbindung etwas entfernt. Zugleich rückt das Kahnbein am Mondbein etwas distalwärts. Diese Umstände und eine allfällige geringe Abhebung des distalen Kahnbeinendes von den Multangula bewirken, daß die Dorsalwärtsdrehung des Naviculare am Lunatum weniger groß zu sein braucht. Am Bänderpräparat läßt sich alles dies bestätigen und nachweisen.

Besonders auffällig ist das Klaffen der Gelenkspalte zwischen dem Naviculare und den Multangula an der Dorsalseite bei der Ulnarbeugung und der dorsale Zusammenschluß der Gelenkflächen bei der Radialbeugung. Wie bereits erwähnt wurde, ist ein Klaffen noch vorhanden bei der absoluten Streckstellung. Da nun bei der Radial- oder Ulnarbewegung aus dieser Stellung eine Dorsal- oder Volarflexion der zweiten Reihe nicht stattfindet, so muß durch die Dorsalflexion (Längseinstellung) des Naviculare bei der Ulnarbewegung der klaffende Winkel an der Dorsalseite vergrößert, durch die Volarbewegung und Querstellung bei der Radialbewegung verkleinert und geschlossen werden.

Die Multangula gleiten übrigens beim Beginn der Ulnarbewegung aus der Radialstellung über dem Ende des Naviculare etwas ulnarwärts und ziehen weiterhin dieses Ende etwas nach der ulnaren Seite hin.

Die Radialbewegung des starren Handabschnittes gegenüber der ersten Reihe aus der Mittel- oder „Normalstellung" der Hand heraus wird nur allmählich und federnd gehemmt, indem das sperrende Naviculare mit seinem Ende nach der Vola zu und auch etwas radialwärts ausweicht. Dagegen wird die Ulnarablenkung verhältnismäßig plötzlich gehemmt durch das Anstoßen des Hamatum am Lunatum. Es gleitet ja bei der Ulnarbeugung der mittlere Gelenk

opf der zweiten Reihe in der Pfanne radialwärts. Indem an demselben as Hamatum stufenartig vorspringt, fängt es sich an der ulnaren distalen andfacette des Lunatum, welche dadurch gebildet ist, daß im Pfannenoden das Lunatum über das Triquetrum vorspringt. (Bei der Radialeugung rücken die beiden Sperrflächen auseinander; zwischen ihnen nd die beiden Handwurzelreihen voneinander abgehoben.) Die in ede stehende Sperrung wird auch bei stärkster Einwirkung zur Ulnareugung unter normalen Verhältnissen nicht überwunden.

Ungefähr zu gleicher Zeit mit dem Anstoßen des Hamatum an das unatum findet am ulnaren Rand der Hand ein vollkommener Zuammenschluß zwischen dem Hamatum und dem Triquetrum statt. Der ufgebogene Rand der proximalen Gelenkfläche des Hamatum wirkt nn ebenfalls wie ein Sperrzahn. Er umfaßt das ulnare Ende des riquetrum. Die Ulnarbewegung des Grundteiles der Hand könnte ichstens noch weitergeführt werden in Form einer Drehung um den tenumpunkt des Hamatum am Lunatum, wenn das Triquetrum unter ärkerer Exkursion des ulnaren Endes proximalwärts geschoben werden nn, was nur in einem geringen, übrigens individuell verschiedenen etrag möglich ist. (H. Virchow stellt wegen des schrägen Verlaufes er Zwischenbänder die Möglichkeit eines solchen Ausweichens bei der Inarbeugung vollkommen in Abrede.)

Eigenbänder der ersten Handwurzelreihe.

Die Bänder zwischen den Elementen der ersten Reihe und die wischen diesen Elementen möglichen Bewegungen sind von H. Virchow 1902) genauer studiert worden. Doch komme ich zu etwas abweichenden efunden. Was zunächst die Verbindung zwischen Naviculare und unatum betrifft, so verläuft der Spalt zwischen den beiden Knochen n ganzen in einer dorsovolaren Längsebene der Hand; sein dorsaler and liegt wohl eher etwas radial vom volaren und der proximale and etwas ulnar vom distalen. Die Spalte ist proximalerseits vom norpel der Proximalseite der ersten Handwurzelreihe überbrückt und ine Strecke weit durch Bandmasse geschlossen.

Nach H. Virchow findet sich zwischen beiden Elementen ein orsales und ein volares Band. Beide werden als schlaff bezeichnet. as volare Band befestigt sich am Naviculare an der volaren Fläche, m Lunatum aber interstitiell. Das dorsale Band heftet sich an den inander gegenüberliegenden dorsalen Randkanten an, und zwar an rem distalen Teil. Ich finde aber das dorsale Band sehr viel mächtiger ls das volare Band und verhältnismäßig tief zwischen die Knochen einreifend. Es besteht aus mehreren Bündeln, von denen das distalste esonders kräftig ist (Lig. navilunatum interosseum dorsale Fig. 92).

Die Verbindungsbrücke, welche den proximalen Rand der Zwischenge schließt und in den oberflächlichen Teilen aus Knorpel gebildet t, nach der Tiefe einen mehr faserigen Charakter annimmt, ist zwischen em Lunatum und dem Triquetrum viel weniger mächtig als zwischen

dem Naviculare und dem Lunatum. (Sie kann zwischen den letzt genannten Elementen unter Umständen auch fehlen.)

H. Virchow beschreibt ein dorsales und ein volares Band, welche beide quer zur Hand, aber schräg zum Spalt verlaufen, der mit seinem

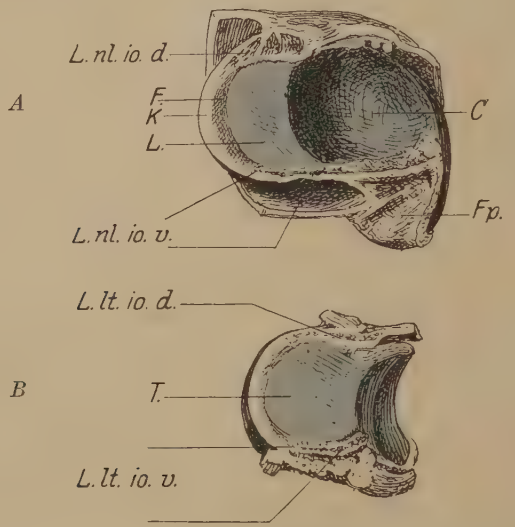


Fig. 92. *A* das Naviculare von der Ulnarseite. *L. nl. io. d.* Lig. navilunatum interosseum dorsale. *L. nl. io. v.* Lig. navilunatum interosseum volare. *K.* Knorpel *F.* Faserknorpel der Randbrücke, *L.* und *C.* Gelenkflächen für das Lunatum und Capitatum, *B* das Lunatum von der Ulnarseite, *T.* Gelenkfläche für das Triquetrum *L. lt. io. d.* Lig. lunato-triquetrum interosseum dorsale; *L. lt. io. v.* Lig. lunato-triquetrum interosseum volare.

proximalen Rand erheblich weiter ulnar liegt als mit seinem distalen Rand. Er nimmt an, diese Bänder seien schon bei der Mittelstellung der Hand gespannt, so daß zwar ein Distalwärtsgleiten bei der Radialbewegung aus der Mittelstellung, aber nicht ein Proximalwärtsgleiten bei der Ulnarbeugung erfolgen könne.

3. Die Dorsalvolarbewegung im Intrakarpalgelenk.

Wir müssen für die folgenden Auseinandersetzungen einige Bezeichnungen vereinbaren. Unter Mittellinie des Grundteiles der Hand sei die Gerade verstanden, welche die Mitte des Kopfbeinkopfes mit der Mitte des III. Metakarpalköpfchens verbindet. Wir sehen dabei davon ab, daß eine Exkursion von einigen Winkelgraden zwischen dem III. Metacarpale und dem Capitatum möglich ist. Alle Ebenen senkrecht zu der Mittellinie sind Querebenen, alle in Querebenen liegenden Durchmesser Querdurchmesser. Als Hauptebene des Grundteiles der Hand sei eine Ebene bezeichnet, welche parallel zur Mittel

nie durch den radialsten Punkt des Trapezbeins und durch den ulnaren and des Hamatums geht. Sie mag etwas volar von der Mittellinie legen sein. Eine solche Ebene halbiert in der Streckstellung der ganzen and die distale Gelenkfläche des Vorderarms. Ein querer Durchmesser s Grundteils, der in der Hauptebene oder zu ihr parallel verläuft, t genau radioulnar gerichtet. Als schiefe Durchmesser (Achsen) s Grundteils müssen wir alle Geraden bezeichnen, welche schief zu en Querebenen stehen.

Auch bei der Untersuchung der Dorsalvolarbewegung im Intrarpalgelenk bedienen wir uns zunächst am besten einer Bänderhand, elche vom Vorderarm gelöst ist. Die allfälligen Formveränderungen r ersten Reihe äußern sich dann in Verschiebungen des Naviculare id des Triquetrum gegenüber dem Lunatum. Von den Verschiebungen s Pisiforme sehen wir vorderhand ab. Die zweite Handwurzelreihe trachten wir als vollkommen starr.

An einer solchen abgetrennten Bänderhand gibt es drei Möglichiten für eine annähernd gesicherte Ausführung der Dorsalvolarbewegung Intrakarpalgelenk. Sie kann vor sich gehen: 1. bei radialem Kraftschluß, wobei entweder das Naviculare oder das Lunatum festgehalten ird, 2. bei mittlerem resp. leicht ulnarem Kraftschluß gegenüber dem stgestellten Lunatum und 3. bei ausgesprochen ulnarem Kraftschluß genüber dem festgestellten Triquetrum.

a) Dorsalvolarbewegung bei radialem Kraftschluß.

aa) Bei festgestelltem Naviculare. Das Aufstemmen des rundteils auf das Naviculare muß mit leicht pronatorischem Drehungsnfluß verbunden sein, damit die radiale gewölbte Gelenkfläche des opfbeins breit der gegenüberstehenden Seite des Naviculare anliegt. ührend und bestimmend für die Dorsalvolarbewegung ist dann einmal er feste Kontakt zwischen der First, welche am Kopfbeinkopf die radiale elenkfläche von der proximalen trennt mit der entsprechenden dorsolaren Rinne an der distalen Gelenkfläche des Naviculare, zweitens er feste Kontakt der einander zugewendeten Seitenflächen der beiden nochen und endlich der Kontakt zwischen der Spitze (Schneide) des aviculare und den Multangulis. Ferner kommt von Bändern namentch das Lig. navi-trapezium marginale in Betracht. Zwischen der Schneide es Naviculare und den Multangula ist die Bewegung wesentlich eine ollung, die ja möglich ist, weil die dorsovolare Krümmung der einander egenüberstehenden Gelenkflächen an der Schneide des Naviculare el enger ist als an den Multangula. Die Achse der Drehung geht twas wandernd) nah hinter dieser Kontaktstelle vorbei, durch den rümmungsmittelpunkt der erwähnten First des Kopfbeinkopfes m volarulnaren Rand der konvexen proximalen Hauptgelenkfläche es Hamatum von der radialen zu ulnaren Seite und etwas proximalärts. Natürlich klafft bei der Volarflexion des Grundteils der Winkel an r Dorsalseite des Kontaktes zwischen dem Naviculare und den Multngula weiter auf. Ein dorsales Klaffen zeigt sich aber auch zwischen

der proximo-ulnaren Gelenkfacette des Kopfbeinkopfes und dem Lunatum und namentlich zwischen dem Hamatum und dem Triquetrum. Die ganze erste Handwurzelreihe bleibt innerhalb einer gewissen Grenze der Exkursion in ihrer Form ziemlich unverändert.

$\beta\beta$) Wesentlich anders liegen aber die Verhältnisse, wenn man nicht das Naviculare, sondern das Lunatum festhält, den Grundteil in Radialabduktion bringt und jetzt die Dorsal- und Volarbewegung ausführt. Das Naviculare ist dann von vornherein gegenüber dem Lunatum, sowohl für die Ansicht vom Dorsum als von der Volarseite her etwas mehr quergestellt. Jetzt sieht man, wie es sich bei der Volarflexion gegenüber dem Lunatum proximalwärts schiebt und im Sinn der Volarflexion dreht. Das Umgekehrte geschieht bei der Dorsalflexion. Die Schiebung ist deutlich, aber nur klein im Vergleich zum Verhalten bei mittlerem und ulnarem Kraftschluß. Auch ist dabei der seitliche Kontakt zwischen dem Capitatum und dem Naviculare kein so vollkommener. Die Dorsalvolarbewegung ist nun wesentlich durch die Führung des proximalsten Teiles des Kopfbeines am radialsten Abschnitt des Lunatum bestimmt. Die Drehungsachse liegt mehr dorsal als im vorigen Fall, geht dorsal vom radialen Ende der Gelenkfläche des Trapezbeines vorbei, genau durch die Mitte des Kopfbeinkopfes ulnarwärts und etwas proximalwärts und erreicht etwa die Mitte der Hohlkehle des Hamatum. Bei solchem Verlauf der Drehungsachse muß natürlich das distale Ende des Naviculare von den Multangulis bei der Volarbewegung proximalwärts (und volarwärts) geschoben, bei der Dorsalbewegung distalwärts gezogen werden. Die Drehung des Naviculare gegenüber dem Lunatum geschieht um das Anheftungsband des dorsalen interstitiellen Verbindungsbandes beider Knochen.

Bei erhaltener Verbindung der Hand mit dem Vorderarm bewegt sich bei der Volar- und Dorsalflexion nicht bloß der Grundteil der Hand im Intrakarpalgelenk, es vollzieht auch die erste Reihe unter Dorsalwärtsgleiten eine volarflektorische, unter Volarwärtsgleiten eine dorsalflektorische Bewegung im Radiokarpalgelenk. Aber dank der Anheftung stärkerer Bänder, die gerade bei radialem Kraftschluß angespannt sind, am Lunatum und Triquetrum, werden diese beiden Knochen in stärkerem Maße gegenüber dem Radius festgehalten, während das Naviculare, trotz seiner Einklemmung zwischen dem Grundteil der Hand und dem Radius der Drehung des Grundteils in ausgiebigerem Maße folgen kann. Der Bandapparat des Radiokarpalgelenkes übt also einen ähnlichen Einfluß aus wie die Hand des Untersuchers, welche am Bänderpräparat ohne Vorderarm das Lunatum festhält.

In beiden Fällen findet die Führung des Grundteiles der Hand wesentlich nur am Lunatum statt und ist keine ganz sichere. Die Drehungsachse kann ulnarerseits mehr oder weniger proximalwärts abweichen, die Volarbewegung kann mehr oder weniger mit supinatorischer, die Dorsalbewegung mehr oder weniger mit pronatorischer Drehung verbunden sein.

ewegung zwischen Lunatum, Naviculare und Grundteil.

Insoweit als das Naviculare die Bewegung des Grundteiles gegenüber dem natum mitmacht, führt es letzterem gegenüber eine volarflexorische Drehung s. Indem es aber der Drehung des Grundteiles nur unvollkommen folgt, ist ne Drehung gegenüber dem Lunatum geringer als diejenige des Grundteiles, d führt der Grundteil auch ihm gegenüber eine volarflexorische Drehung aus. e Bewegung zwischen dem Naviculare und dem Grundteil geschieht aber nicht die oben bezeichnete Navi-Lunatum-Achse. Es muß ja die Achse der resultie- den Drehung des Grundteils gegenüber dem Lunatum jeweils intermediär ge- en sein zwischen der Achse der Drehung des Grundteils gegenüber dem Navi- are und derjenigen, um welche sich das Naviculare gegenüber dem Lunatum ht. Geht letztere durch den dorsalsten Punkt der Navi-Lunatumverbindung, Achse der Grundteil-Lunatumdrehung durch die Mitte des Kopfbeinkopfes, muß die Drehung zwischen Grundteil und Naviculare um eine weiter distal und lar durch die Spitze des Naviculare hindurchtretende Achse stattfinden. Letztere ß jedenfalls das fächerförmige Lig. navi-trapezium-marginale treffen, sei es am sprung oder näher dem Ansatz. Je nachdem ist die Verschiebung der Multangula der Spitze des Naviculare bei der Volarbewegung ein reines Drehgleiten volar- rts, oder gesellt sich zu letzterem noch eine Rollung nach der Volarseite. Unter en Umständen wird die Spitze des Naviculare auch im ganzen von den Multangula larwärts proximalwärts mitgenommen. Es fragt sich nur, durch welche Kraft- wirkung solches geschieht. Liegt die Achse der Drehung zwischen Naviculare d Lunatum an der volaren resp. proximalen Seite der Ebene, welche durch die hse der Grundteil-Lunatumdrehung (Kopfbeinmitte) und den Naviculare- ltangulakontakt geht, so muß bei der Volarbeugung der Hand eine Schubwir- ng auf das Naviculareende von seiten der Multangula stattfinden, während gekehrt bei der Dorsalbewegung die Spitze des Naviculare nur durch den Zug s Bandes mitgenommen wird usw. Fällt aber die Achse der Navi-Lunatum- hung mit jener Ebene durch die Kontaktstelle und die Kopfbeinmitte zu- mmen, so ist wenigstens zu Anfang der Volarbewegung keine Schubwirkung rhanden; die Mitbewegung kann da nur durch Vermittlung des Bandes (und even- ell den Reibungswiderstand) in der einen wie in der anderen Richtung geschehen.

Nach unseren früheren Darlegungen (S. 217) geht die Drehungsachse für die aviculare-Lunatumbewegung durch den dorsalen Rand der Zwischenfuge. Fällt nun auch in einer bestimmten Stellung des Grundteils zum Lunatum mit der bene zusammen, welche durch den Naviculare-Multangulakontakt und die Achse r Grundteil-Lunatumdrehung geht, so muß sie bei fortschreitender Volarbeugung s Grundteils nach der volaren und proximalen Seite der genannten Ebene heraus- eten und ihr Abstand von den Multangula muß kleiner werden. Wenn nun auch ter federnder Anspannung und etwelcher Dehnung der dorsalen Naviculare- natumbänder das Naviculare am Lunatum etwas dorsal und proximalwärts rückweicht, während es sich zugleich im Sinn die Volarbeugung dreht, so muß ch das Naviculare wie eine Sperrstange der Volarbewegung des Grundteils mer stärker federnd hemmen. Etwas vermindert wird diese Sperrung dadurch, ß eine kleine Strecke weit eine untere Fläche der Schneide des Naviculare vor- nden ist, an welcher die Kontaktstelle etwas volarwärts und proximalwärts ndert. Tritt bei Dorsalbewegung des Grundteils von jener Ausgangstellung aus e Drehungsachse des Naviculare aus der genannten Achsenebene der Grundteil- natumdrehung dorsalwärts heraus, so verringert sich ebenfalls der Abstand rselben von den Multangula. Indem aber der Kontakt am Naviculare dorsal- rts wandert und die obere Fläche der Navicularschneide rasch und ausgiebig oximalwärts zurückweicht, macht sich hier eine Sperrung erst später und lang- mer geltend. Nach Maßgabe wie die Sperrung zunimmt, rückt die Achse der rehung zwischen Lunatum und Grundteil vom Lunatum ab und nähert sich der hse der Grundteil-Naviculardrehung.

Wenn die Achse der Drehung zwischen Grundteil und Naviculare näher dem stalen Ansatz des Lig. navi-trapezium gelegen, und wenn mit dem Drehgleiten r Multangula um die Spitze des Naviculare Rollung nach der gleichen Seite rbunden ist, so spannen sich bei der Volarbewegung die dorsalen, bei der Dorsal-

bewegung die volaren Fasern des Bandes. Jedenfalls stellen sich die Längsachse des Naviculare und des Capitatum bei der Volarbeugung mehr parallel zueinander dabei vergrößert sich der dorsal von der Kontaktstelle zwischen Naviculare und Multangula gelegene Winkel (Aufklaffen). Der Kopf des Kopfbeins rückt am Naviculare vorbei dorsalwärts. Betrachtet man den Grundteil als ruhend, so stellt sich die Bewegung zwischen ihm und dem Naviculare dar als ein Volar- und Dorsalwärtspendeln des Naviculare an der Seite des Capitatumkopfes um das Lig. navi-trapezium marginale als Aufhängepunkt. Mit dem Dorsalwärtsgleiten ist etwelche supinatorische Längsdrehung des Naviculare verbunden, mit dem Volarwärtsgleiten eine pronatorische Längsdrehung. Bei starker Dorsalflexion der Hand schiebt sich das Naviculare so weit auf die Dorsalseite des Kopfbeinkopfes hinauf, daß sich der dorsale Klaffraum zwischen dem Naviculare und der Multangula vollständig schließt und der dorsale Rand des Naviculare den Hals des Capitatum erreicht (zungenförmiger Ausläufer der Gelenkfläche des Capitatum für das Naviculare).

Gegenüber dem Lunatum vollzieht das Naviculare nicht eine reine Drehung parallel der radialen Fläche des erstgenannten Knochens; es rollt vielmehr auf dieser Fläche etwas volarwärts resp. dorsalwärts. Dementsprechend ist seine dem Lunatum zugewendete Fläche in dorsovolarer Richtung leicht konvex.

Die besprochenen Umstellungen des Naviculare gegenüber dem Grundteil der Hand und gegenüber dem Lunatum vollziehen sich in größerem Umfang, aber wesentlich nach demselben Prinzip bei mittlerem und bei ulnarem Kraftschluß (bei mehr oder weniger ulnarwärts abduzierter Hand). Hier übernehmen statt des radialen Abschnittes des proximalen Gelenkkopfes der zweiten Reihe mehr ulnarwärts gelegene Teile im breiten Kontakt mit dem Lunatum oder Triquetrum die Führung. Es ist klar, daß die Drehungsachse um so mehr an der radialen Seite proximalwärts, an der ulnaren Seite distalwärts abweicht, gegen je weiter ulnarwärts gelegene Teile der ersten Reihe der Kraftschluß gerichtet ist. Um so stärker muß dann im allgemeinen die Spitze des Naviculare bei der Dorsal- und Volarbewegung des Grundteiles mitgenommen werden.

Die Volarflexion kann bei radialem Kraftschluß unter Erhalten bleiben des Kontaktes zwischen der radialen Facette der proximalen Kopfbeingelenkfläche und dem radialen Teil des Lunatums nur wenig weit ausgeführt werden, da von Anfang an das Naviculare zur Längsachse des Lunatum mehr quer steht. Die Widerstände gegen die Drehung des Naviculare zu größerer Querstellung und gegen weitere Verschiebung proximalwärts wachsen sehr rasch bis zur völligen Versteifung des Naviculare mit dem Lunatum. Es wird nunmehr die Berührungsstelle des Multangula mit dem Ende des Naviculare zum Stemmpunkt. Der Grundteil dreht sich um eine durch diesen Punkt gehende, volar zur Mitte des Kopfbeinkopfes gelegene Achse und wird dorsalerseits von der bis jetzt führenden Fläche des Lunatum abgehoben, welcher Bewegung durch den dorsalen Bandapparat des Intrakarpalgelenkes bald ein Ziel gesetzt wird.

Aber auch die Dorsalflexion ist nur in beschränktem Umfang möglich, weil der dorsale Teil der proximalen Gelenkfläche der Multangula relativ früh auf die Endgelenkfläche des Naviculare vollkommen aufschließt, so daß zwischen dem Grundteil und dem Naviculare eine Versteifung zustande kommt. Eine weitergehende Drehung des Grundteils mit dem Naviculare gegenüber dem Lunatum kann nun nicht mehr um eine Achse stattfinden, welche durch die Mitte des Kopfbeinkopfes geht, sondern höchstens um eine mehr dorsal gelegene durch das dorsale Ende des Lunatum (Lig. navi-lunatum) gehende Achse. Der Kopfbein

pf muß dabei volarwärts gehebelt werden, unter Aufklaffen der Gelenkche an der Volarseite und Anspannung des volaren Bandapparates.

Dorsalvolarbewegung bei ulnarem Kraftschluß und festgehaltenem Lunatum.

Führend ist hier die ulnare Facette der proximalen Gelenkfläche s Kopfbeinkopfes und bei genügend stark ulnar abduzierter Hand Sperrfläche des Hamatum, an der ersten Reihe aber die zwischen Catum und Hamatum einspringende Kante des Lunatum mit den beiderts angrenzenden Flächen. Beim Gleiten entlang dieser Kante handelt sich um eine Drehung um eine Achse, welche durch den Mittelpunkt er Krümmung, also auch wieder ungefähr durch die Mitte des Kopfinkopfes geht. Doch verläuft sie am radialen Rand der Hand mehr rsal und proximal gegenüber den Multangulis im Vergleich zum Verf der Achse der Dorsalvolarbewegung beim radialen Kraftschluß, d am ulnaren Rand liegt sie natürlich etwas mehr nach der Vola zu d mehr distal, etwa dem volaren Ende der Hohlkehle des Hamatum tsprechend.

Es ist bereits hervorgehoben worden, daß sich beim ulnaren Kraftluß an der radialen Seite der Handwurzel die zweite Handwurzelhe von der ersten etwas abhebt und die Multangula sich vom Lunatum tfernen, wobei das Naviculare in eine mehr längsgerichtete Stellung m Lunatum sowohl als zum Grundteil übergeführt ist. Der dorsale inkel zwischen den Gelenkflächen der Multangula und dem Navilare klafft schon in der Mittelstellung stärker im Vergleich zu dem rhalten bei radialem Kraftschluß und wird erst bei weitergehender rsalbeugung völlig geschlossen, während andererseits die Multangula i der Volarbeugung schon früher um die Spitze des Naviculare bis r Endstellung herumgeführt sind. Eine weitere Volarbeugung des rundteils kann dann nur noch zugleich mit dem Naviculare unter Verinderung der Ulnarablenkung (um eine anders gelagerte Achse) zustande mmen.

Hinsichtlich der übrigen Teile des Gelenkes ist noch folgendes zu merken. Hamatum und Triquetrum sind in ziemlich gutem Kontakt. in geringes Klaffen der Gelenkflächen an der Dorsalseite bei der Volarugung verschwindet bei der Dorsalbeugung und umgekehrt. Es irkt aber bei starker Volarbeugung der volare Teil des abgebogenen andes der Gelenkfläche des Hamatum, ähnlich wie die Multangula auf s Naviculare, nur in viel geringerem Grade wie ein Sperrzahn auf die nare volare Peripherie des Triquetrum. Das proximale Ende wird das Lunatum angedrückt (wo die Knorpelbrücke fehlt, sieht man den palt sich schließen) und auch etwas dorsalwärts verschoben. Das Triquetrum wird um etwas Weniges mit seiner Längsachse mehr quer zu rjenigen des Lunatum gestellt, für die Ansicht von der Ulnarseite her nd namentlich für diejenige vom Dorsum aus. Eine entgegengesetzte erschiebung erleidet das Triquetrum gegenüber dem Lunatum bei ärkerer Dorsalflexion, weil hier der dorsale Teil des aufgebogenen

Gelenkrandes des Hamatum gegen das Triquetrum drückt, und wei am ulnaren volaren Rand die Bänder des Intrakarpalgelenkes das Tri quetrum distalwärts ziehen. So verhält es sich wenigstens, wenn de Vorderarm vom Präparat abgetrennt ist.

c) Schräge Dorsalvolarbewegung bei ulnarem Kraftschluß und festgestelltem Triquetrum.

Aus stärkster Volarflexion in maximaler Ulnarabduktion kann de Grundteil der Hand noch in anderer Weise unter sicherer Führun dorsalwärts und wieder zurückbewegt werden als mit Erhaltenbleibe des Kontaktes zwischen dem Lunatum und der vom Kopfbeinkop und vom Hamatum gebildeten proximalen Rinne, nämlich unter Führun der Randrinne der proximalen Gelenkfläche des Hamatum entlang der abgebogenen Randteil der distalen Gelenkfläche des Triquetrum. E ist dies allerdings keine reine Dorsal- und Volarbewegung, sondern ein schräge Bewegung. Die Dorsalbewegung ist mit Radialbewegung un supinatorischer Längsrotation, die Volarbewegung umgekehrt mit Ulnar bewegung und pronatorischer Längsrotation verbunden. Die Achse de Drehung geht schräg von einem weit distal auf der Dorsalseite des Ha matum gelegenen Punkt zu einer Stelle, die volar vom radialsten Punkt de Trapezbeins gelegen ist, in einer Richtung, die aus der rein ulnoradiale Richtung stark volarwärts und aus der Querebene der Hand deutlich proximalwärts abweicht. Die Dorsalbewegung ist am besten möglich be festgestelltem Triquetrum. Sie ist in der angegebenen Weise scho aus der Volarbeugestellung heraus (bei Ulnarabduktion) möglich, wei dabei das Hamatum am Triquetrum ulnarwärts (und volarwärts) ver gleitet und sich mit seiner proximalen Sperrfacette von der Sperrfacett des Lunatum entfernt. Um den gleichen Betrag kann bei der Rück bewegung des Grundteils das Hamatum am Triquetrum dorsalwärt und radialwärts zurückgleiten, bis die Sperrflächen wieder aufeinande stoßen (Volarbewegung des Grundteils).

H. v. Meyer hat zuerst auf diese Bewegung aufmerksam gemacht (Stati und Mechanik, 1873). Nach ihm bildet eine solche Dorsalbewegung des Grundteil unter Benutzung der Randrinne als Führung (Ulnarwärts-Volarwärtsgleiten de Hamatum) nur den Schlußteil der typischen Dorsalbewegung im Intrakarpalgelenk Es muß jedoch bemerkt werden, daß am Ende der Dorsalbewegung unter mittlerer Kraftschluß die Sperrflächen des Lunatum und Hamatum einander schon rech nahe stehen, so daß eine weitere, schräge Dorsalbewegung bis zum Aufeinander stoßen der Sperrflächen dann nur noch in sehr geringem Betrage möglich ist H. v. Meyer betrachtet das Intrakarpalgelenk im wesentlichen als einen Ginglymus in welchem die Dorsalvolarbewegung hauptsächlich durch das Lunatum bestimm wird, das Naviculare aber eine Sonderbewegung gegenüber dem Lunatum ausführ auf deren komplizierte Analyse wir hier nicht eintreten wollen. Am Ende de Dorsalbewegung aber versteife sich das Naviculare mit dem Komplex Lunatum Triquetrum und hierdurch werde veranlaßt, daß nunmehr der letzte Teil der Dorsa bewegung unter Führung der aufeinanderstoßenden Randteile der Gelenkfläche des Triquetrum und Hamatum (Volar- und Ulnarwärtsgleiten der Randrinne de Hamatum an der abgebogenen Randfläche des Triquetrum) vor sich gehe, wob sich mit der Dorsalflexion eine Radialflexion kombiniere.

Die radiale Ecke des Trapezbeins entfernt sich bei der Volar bewegung des Grundteils vom Lunatum resp. Triquetrum und näher

n diesen Knochen bei der Dorsalbewegung. Sie bewegt sich also bei-
ne in der Längsrichtung des Naviculare und bewirkt keine wesentliche
derung seiner Querstellung zum Lunatum. Wohl aber wird der Bogen
ersten Handwurzelreihe bei der Volarbeugung gestreckt, bei der Dor-
beugung zusammengeschoben. Sie gleitet bei der Volarbeugung des
ndteils über seinem Gelenkkopf ulnarwärts, weicht dabei von der dor-
en nach der proximalen Seite desselben seitlich aus und streckt sich in
Länge. Bei der Dorsalbeugung des Grundteiles aber gleitet die erste
ihe radialwärts, mit Seitwärtsbewegung nach dem Dorsum zu und
iebt sich in eigentümlicher Weise zusammen, unter stärkerer Aus-
gung des Krümmungsscheitels und Abhebung vom Kopf des Capi-
um. Bei der Dorsalbeugung entfernt sich namentlich an der Dorsal-
e die Sperrfläche des Hamatum von derjenigen des Lunatum ulnar-
rts. Bei der Volarbeugung schiebt sich die erstere wieder an letztere
an und drängt zuletzt das Lunatum unter Dehnung der Zwischen-
bindung möglichst vom Triquetrum ab.

Die in Rede stehende, am meisten gesicherte und ergiebigste schräge
wegung ermöglicht vornehmlich die Herstellung stärkster Ulnarabduk-
n bei Volarbeugung und andererseits die Herstellung stärkster Dorsal-
igung in Ulnarabduktionsstellung (bei ulnarem Kraftschluß).

Die drei besprochenen Arten der Dorsalvolarbewegung können in
mlich typischer Weise je in einem bestimmten Exkursionsbetrag aus-
ührt werden, bei weitergehender Krafteinwirkung zur Dorsal- oder
larbeugung ändern sich aber schließlich die Verhältnisse so, daß auch
den bis dahin führenden Stellen der Kontakt unvollkommener wird,
lem durch die Widerstände der Knochen und Bänder neue Stemm-
nkte und andere Achsen der Drehung geschaffen werden, die nicht
hr durch die Mitte des Kopfbeinkopfes gehen. Im allgemeinen werden
i weitergehender Volarbeugung die neuen Stemmpunkte an der Volar-
te, bei extremer Dorsalbeugung an der Dorsalseite, bei radialem Kraft-
luß mehr an der Radialseite, bei ulnarem Kraftschluß mehr an der
narseite der ersten Reihe auftreten.

d) Mittlerer Kraftschluß.

Die besprochenen drei Fälle sind hinsichtlich des Kraftschlusses
wissermaßen extreme Fälle (1 = extremer radialer Kraftschluß,
= gut ausgesprochener, 3 = extremer ulnarer Kraftschluß). Da-
ischen liegt nun die Möglichkeit eines mittleren Kraftschlusses,
i welchem die Dorsalvolarbewegung unter weniger sicherer Führung
s Kopfbeinkopfes am Naviculare und Lunatum bald rein, bald mehr
mbiniert mit Radial- oder mit Ulnarbewegung, je nach Umständen
n etwas verschiedene Drehungsachsen vor sich gehen kann. Auch ist
türlich sowohl bei Dorsal- als bei Volarbeugung eine direktere Über-
hrung des Grundteiles aus der Ulnarabduktion in die Radialabduktion,
d umgekehrt, wieder um neue Drehungsachsen möglich.

So ist es erklärlich, daß bei mittlerem, aber nur schwachem Kraft-
luß, bei welchem die Hand nur sehr wenig oder gar nicht gegen den

Vorderarm angepreßt wird, die Dorsalvolarbewegung um eine Achs stattfinden kann, welche radialerseits durch das Lig. navi-trapezium marginale, ulnarerseits, etwas wandernd, durch den ulnaren Rand de Gelenkfläche des Hamatum hindurchgeht. Um eine solche Achse is sogar eine besonders ausgiebige dorsale und volare Bewegung möglich unter verhältnismäßig geringen Widerständen. Die erste Handwurzel reihe bleibt bei derselben in ihrer Gestalt fast unverändert. Aber dies Bewegung geschieht nichts weniger als in sicherer Führung. Die Achs geht nicht durch die Mitte des Kopfbeinkopfes, sondern volar an der selben vorbei. Der Kopfbeinkopf hat nirgends und in keiner Stellun breiten Anschluß an das Lunatum vom Dorsum bis zur Vola, sonder hebt sich dorsalerseits in ganzer Breite von ihm ab.

Aus unserer ganzen bisherigen Betrachtung geht also zur Eviden hervor, daß es sich bei der Bewegung im Intracarpalgelen nicht um eine einzige bestimmte, zum Grundteil der Han feststehende Achse handeln kann. Neben drei typischen, einige maßen sicher — innerhalb gewisser Exkursionsgrenzen — um drei ver schiedene Achsen ausführbaren Drehungen, zu denen noch die rein Radialulnarbewegung hinzukommt, gibt es überdies alle mögliche Zwischenbewegungen um neue, abweichende Achsen.

Die meisten Autoren, welche sich mit dem Handgelenk beschäftigt haben haben erkannt, daß im Intrakarpalgelenk vor allem dorsale und volare Drehunge möglich sind um eine mehr oder weniger genau radioulnar durch die Mitte de Kopfbeins gehende Achse, daß aber andererseits auch Radial- und Ulnarbewegun im Intrakarpalgelenk möglich ist. Das Ausweichen des Naviculare bei der Radia flexion ist schon von H. v. Meyer erkannt worden, ebenso wie andererseits d Tatsache, daß ulnarerseits das Hamatum sich bei der Radialflexion vom Tr quetrum abhebt und bei der Ulnarflexion auf dasselbe aufschließt. Die Mög lichkeit der Verschiebung des Triquetrum gegenüber dem Lunatum wurd nur teilweise berücksichtigt (von H. Virchow für die Radialflexion). Daß dan auch Kombinationen zwischen Randbewegungen und Dorsalvolarbewegunge wenigstens in mittleren Stellungen möglich sind, lag auf der Hand und mußte eigentlich der Gedanke an eine einzige zum Grundteil feste Achse de Intrakarpalgelenkes oder an eine einzige auf zwangmäßiger Führung be ruhende Dorsalvolardrehung von der Hand gewiesen werden. Trotzdem ist solche nicht mit genügender Entschiedenheit geschehen und es hat in dieser Hinsich besonders die Lehre von Henke mißleitend gewirkt. Wie H. Virchow au einandersetzt, ist Henke von der Bewegung zwischen dem Naviculare einerseit dem Capitatum und den Multangulis andererseits ausgegangen (nach unserer Be zeichnungsweise von den Bedingungen des radialen Kraftschlusses). Er ha die zwischen diesen Elementen als einen Ginglymus aufgefaßt und die zwische ihnen mögliche Bewegung als eine reine Drehbewegung um eine schräge durch de Höcker des Naviculare, die Mitte des Kopfbeinkopfes und die Dorsalseite des Ham tum nahe dem Ulnarrand hindurchgehende Achse, die er sich auch radialerseits de Multangulis gegenüber fest gedacht hat. Um diese feste Achse sollte nun die gan Bewegung im Intrakarpalgelenk vor sich gehen. Diese Lehre ist natürlich falsc wie aus der ganzen bisherigen Darstellung hervorgeht. Sie hat aber Henke ve anlaßt, eine zweite umgekehrt schräge Achse für das Radiokarpalgelenk anzunehme um aus der Kombination zweier Bewegungen um diese beiden schrägen Achse auch die sogenannten geraden Bewegungen der Hand herleiten zu können. Die Lehre hat lange fast als Dogma gegolten und wo Zweifel an ihr sich geltend machte wurde doch versucht, wenigstens Teile der Lehre zu retten (s. u. S. 255).

4. Grenzen der Exkursion im Intrakarpalgelenk.

Zum Schluß sollen noch die Grenzen der Exkursion des Grundteils der Hand im Intrakarpalgelenk und die verschiedenen Extremstellungen, wie wir sie am Bänderpräparat beobachten können, in einer schematischen Abbildung veranschaulicht werden. In Fig. 93 ist bei 0 die Mittellinie des Grundteiles der Hand zum Punkt verkürzt dargestellt. Das Viereck bei 0 stellt das Lunatum vor. Die Gerade R U entspreche der Hauptebene der Grundteile (radioulnare Längsebene), D V der dorso-volaren Längsebene durch die Mittellinie. Die geschlossene Kurve stellt ungefähr die Grenzlinie dar, in welcher sich die Mitte des III. Metakarpalköpfchens im Intrakarpalgelenk bewegen kann, für die Betrachtung von der distalen Seite her. Die kurzen Querlinien zeigen die Lagen, welche in den Grenzstellungen ein durch das III. Metakarpalköpfchen in radioulnarer Richtung durchgestecktes Querstäbchen einnimmt. (Die Wahl der Stellung näher der dorsalen und der radialen Extremlage als Mittelstellung ist etwas willkürlich.)

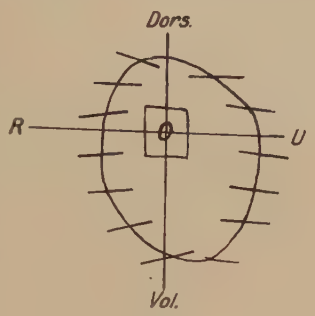


Fig. 93.

Die Figur zeigt u. a. die zwei verschiedenartigen Abschnitte der Dorsalvolarbewegung in extremer Ulnarstellung, von der oben die Rede war, ferner die mit dem Schluß der Dorsalbewegung in ulnarer Stellung verbundene supinatorische Drehung und die pronatorische Drehung bei der Dorsalbewegung in extremer Radialstellung. Die Wahl der Stellung näher der dorsalen und der radialen Extremlage als Mittel ergibt sich, wenn man von der völlig gestreckten Hand ausgeht, bei welcher die Mittellinie des Grundteiles in der Richtung des Vorderarmes liegt. Die distale Gelenkfläche des Lunatum sieht dann distal- und volarwärts (s. darüber S. 260 u. ff.).

β) Das Radiokarpalgelenk.

1. Gelenkkörper und Gelenkflächen.

In dem Radiokarpalgelenk wird die Pfanne gebildet von der queren Endfläche des Radius und von der sog. Dreieckplatte, welche von der ulnaren Randkante des Radiusendes aus distal an der queren Endfläche des Ulnaköpfchens vorbei gegen den Proc. styloides ulnae verläuft und mit diesem durch die weiche gefäßhaltige Bandmasse des Lig. subcruentum verbunden ist. Die Dreieckplatte trennt die Gelenkhöhle des unteren Radioulnargelenkes von derjenigen des Radiokarpalgelenkes. Sie verschiebt und dreht sich bei der Pronation und Supination auf der Endfläche der Ulna. Etwa $^1/_4$ der Pfannenfläche kommt auf Rechnung der Dreieckplatte.

Die Pfannenfläche zeigt in ihrer größeren, radioulnaren Längsrichtung eine flachere, in der queren, dorsovolaren Richtung eine stärkere distalwärts gerichtete Konkavität. Man hat sie als eischalenförmig bezeichnet. Ihr dorsaler Rand liegt etwas weiter distal als der volare und ihr von der Ulna weiter entferntes (abulnares) Ende weiter distal als der ulnare Rand. Die Fläche sieht also im ganzen etwas ulnarwärts und volarwärts. Öfters ist am Radiusteil eine dorsovolarwärts verlaufende Knorpelfirst ausgeprägt, welche bei mittleren Stellungen der Hand der Grenze zwischen Naviculare und Lunatum entspricht und von Henke als Führungsleiste für die Bewegung im Radiokarpalgelenk angesehen wurde; doch gleitet bei Radial-Ulnarbewegung die erste Reihe über diese First, die übrigens auch fehlen kann, hinweg. Sie möchte wohl ihre Ausbreitung dem anhaltenden stärkeren Druck verdanken, der gerade in mittlerer Radioulnarstellung beim Anstemmen der Hand zwischen den beiden Gelenkkörpern wirksam ist.

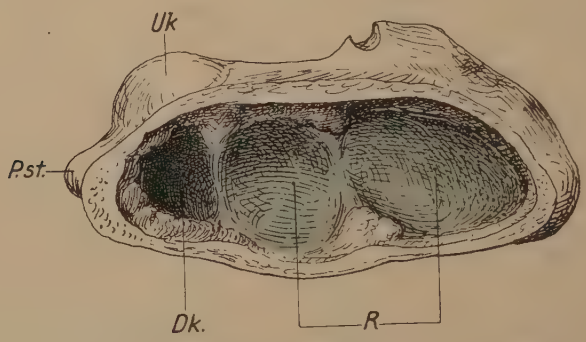


Fig. 94. Radiokarpalgelenk, proximaler Gelenkkörper. *Uk* Köpfchen der Ulna *R* Radius.

Die Dreieckplatte steht in solchen Mittelstellungen nur dem ulnaren Drittel des Lunatum und dem radialen Teil des Triquetrum gegenüber. Letzteres sieht mit seinem ulnaren Teil gegen das Ligg subcruentum, den Proc. styloides ulnae und die ulnare Kapselwand.

An der Bildung des Gelenkkopfes beteiligen sich von der ersten Handwurzelreihe das Naviculare, das Lunatum und das Triquetrum. Diese Elemente sind durch Längsspalten voneinander getrennt, welche sich distalwärts in die Hauptspalte des Intrakarpalgelenkes öffnen, an der dorsalen, proximalen und volaren Seite dagegen durch Bandmassen und durch den gemeinsamen Knorpelüberzug der proximalen Gelenkfläche abgeschlossen sind. Mitunter ist der proximale Abschluß unvollkommen, so daß das Radiokarpal- und das Intrakarpalgelenk miteinander kommunizieren. Auch eine Kommunikation des Radiokarpalgelenkes mit der Gelenkhöhle des distalen Radioulnargelenkes, und eine solche mit der Höhle des Pisiformegelenkes ist je in ca. $^1/_3$ der Fälle beobachtet worden (siehe Poirier und R. Fick, Handb. I, S. 234).

Die gemeinsame proximale Gelenkfläche der ersten Handurzelreihe zeigt wie die Pfanne eine flachere Krümmung vom dialen zum ulnaren Rand, eine engere Krümmung von der laren zur dorsalen Seite. Man hat die Form dieser Gelenkfläche ellipsoidisch bezeichnet. Uns scheint, daß sie eher mit der quergerunten peripheren Randfläche einer runden Scheibe, oder eines Ringes vergleichen ist, immerhin mit der einschränkenden Bemerkung, daß wohl die Dicke des Randes (der Radius seiner Querkrümmung), die Breite der zur Gelenkfläche benutzten Partie nach der ulnaren d radialen Seite hin etwas abnehmen. So nähert sich in Wirklichkeit Gestalt derjenigen einer Tonnen- oder Spindelfläche. Der Bogenrt der dorsovolaren Krümmung ist an der Basis (proximale ulnare rtie) des Naviculare am größten. Die Gelenkfläche des Kopfes zeigt beiden Richtungen eine größere Ausdehnung als die Pfanne.

Die Pfanne entspricht nach B. Braude (1883, zitiert nach Leßhaft, Anat. z. 1901) bei 20 gemessenen Händen in ihrer größten radioulnaren Krümmung em Bogen von 74°, das größte radioulnare Profil des Kopfes aber einem Bogen n 109,5°.

Die größte dorsovolare Krümmung der Radiusgelenkfläche entspricht einem gen von 67°, die größte dorsovolare Krümmung der Kopfgelenkfläche einem gen von 113,5°.

Die korrespondierenden Krümmungshalbmesser des Kopfes sind etwas iner als diejenigen der Pfanne; die Gelenkflächen klaffen von der Stelle der rksten Anpressung aneinander nach den Rändern hin nicht unbedeutend, mentlich in radioulnaren Krümmungsebenen.

Die Stellungen und Bewegungen im Radiokarpalgelenk.

Die Streckstellung der Hand entspricht nicht der Mittelstellung r Gelenkflächen zueinander. Von ihr aus ist Volar- und Ulnarflexion größerem Umfang möglich als die Dorsal- und Radialflexion. Wir rden darüber später zugleich mit der Besprechung des Bewegungsnfanges im Intrakarpalgelenk berichten. Die wahre Mittelstellung im sten Gelenk entspricht also einer leicht volar- und ulnarwärts flekrten Hand, wobei vorausgesetzt ist, daß die erste Handwurzelreihe der Ulnarradial- und an der Dorsalvolarbewegung der ganzen Hand gleichsinniger Drehung mit dem Grundteil teilnimmt.

Henke hat eine einzige Achse für die Drehungen im Radiokarpalenk angenommen, welche nach ihm an der Spitze des Proc. styloides dii vorbei zum Erbsenbein verlaufen sollte. Demgegenüber lehrt die obachtung am Präparat und am Lebenden, daß in den Mittelstellungen s Gelenkes reine dorsovolare Bewegungen und daneben in erheblichem trag auch Radial- und Ulnarbewegungen möglich sind und beliebige mbinationen zwischen diesen beiden Arten der Hin- und Herbewegung. an kann höchstens zugeben, daß um die Henkesche Achse die ausbigste Gesamtexkursion möglich ist. Die Henkesche Lehre von den wegungen im Handgelenk soll später im Zusammenhang besprochen rden.

Die Achse der hauptsächlichen Dorsalvolarbewegung im ntibrachiokarpalgelenk geht dem größten Durchmesser der Ra-

diusgelenkfläche annähernd parallel und liegt, da letztere etwas de Vola zugekehrt ist, im ganzen etwas volar von der Mittelebene des Radius endes. Sie geht aber bei gestreckter Hand noch dorsal vom Erbsen bein vorbei. An der radialen Seite tritt sie natürlich nicht am äußerste radialen Rand der Handwurzel heraus, sondern dorsal davon. Sie ent spricht also durchaus in der Streckstellung und Mittelstellung der Han der Hauptebene der letzteren. Sie steht ferner bei vollkommener Streck stellung der Hand etwas schief zur Querebene sowohl des Radius al der Hand, und zwar an der radialen Seite etwas mehr distal. Dagege verläuft sie quer zur Hand in der Mittelstellung.

Die erste Handwurzelreihe gleitet bei der Radialbewegung de Hand in der Pfanne ulnarwärts, bei der Ulnarbewegung radialwärts bei der Dorsalbewegung gleitet sie volarwärts und bei der Volarbewegun dorsalwärts. Die Bewegungen der Hand im Radioulnargelenk sind als immer Drehbewegungen um Achsen, welche distalwärts von de Berührungsfläche gelegen sind. Wir werden später sehen, daß sie mi der Änderung der Stellung der Hand ihre Lage und Richtung sowoh der Hand als dem Vorderarm gegenüber ändern.

Die verschiedenen Drehungsachsen der Radial-Ulnarbewe gung sind naturgemäß, soweit es sich um Drehgleiten und nicht un Rollung handelt, weiter von der Berührungsfläche entfernt als di Achsen des dorsovolaren Drehgleitens; sie stehen ungefähr senkrech windschief zu denselben und verlaufen ungefähr dorsovolar zur Ver breiterungsebene des Radius und zu der Hauptebene der Handwurze während die Achsen der Dorsal- und Volarbewegung ungefähr radio ulnar zum Radius und zur Hand gerichtet sind.

Ein solches Gelenk wird allgemein als Ellipsoidgelenk (vo O. Fischer als Ovalgelenk) bezeichnet. Das Ellipsoidgelenk abe wird aufgefaßt als eine Art Gegenstück zum Sattelgelenk. Wie diese ist es kein vollkommen kongruentes Gelenk, gestattet aber doch ein ziemlich sichere Führung von Drehbewegungen parallel zwei senkrech zueinander stehenden Ebenen von mittleren Stellungen aus. Es be sitzt also im wesentlichen zwei Grade der Freiheit der Bewegung. I der Tat gibt es eine Gelenkform der Technik, bei welcher, wie bei Ring-Ringflächengelenk in zwei bestimmten, senkrecht sich kreu zenden Profilen, von denen das eine zum einen, das andere zum andere Gelenkkörper feststeht, Berührung und parallel den Ebenen diese Profile Drehung um die senkrecht zu ihnen durch die Krümmung mittelpunkte gehenden Achsen unter Erhaltung des Kontaktes (i diesen Profilen) möglich ist, während jede andere Drehung auch diese beschränkten, aber zur Feststellung bei Kraftschluß genügenden Kon takt aufhebt. Im Gegensatz zu dem Ring-Ringflächengelenk ist abe die Krümmung der beiden Profile nach der gleichen Seite hin konve resp. konkav, die beiden jeweiligen Drehungsachsen liegen in verschi denem Abstand aber an der gleichen Seite des Kreuzungspunk tes. Ein solches Gelenk ist genau genommen nicht ein Ellipsoidgelen sondern ein Hohlringflächen-Spindelgelenk. Die Gelenke de

rischen Körpers und so auch das Radiokarpalgelenk können allerdings s gewissen Gründen niemals vollkommen einem solchen Gelenk entechen.

Ich hoffe, durch die folgenden Auseinandersetzungen auch für s Verständnis dieser homolateral konvexen sogenannten zweiachsigen lenke einiges beitragen zu können.

3. Theoretisches über das sog. Ellipsoidgelenk.

a) Reines Hohlringflächenspindelgelenk.

Im sog. Ellipsoidgelenk stoßen Gelenkflächen zusammen, welche zwei Hauptrichtungen im gleichen Sinne aber ungleich stark gekrümmt sind. Die eine Gelenkfläche entspricht einer Pfanne, die andere em Gelenkkopf. Die Krümmungsmittelpunkte der Hauptprofile der lenkflächen liegen auf der gleichen ite der Gelenkspalte, wenn auch in rschiedener Entfernung. Auch hier, e beim Sattelgelenk ist zu untersuchen, ter welchen Bedingungen der Kont bei dem Aneinandergleiten der beien Gelenkflächen am besten gesichert , und welche Arten der Bewegung r beiden Gelenkkörper dabei mögh sind.

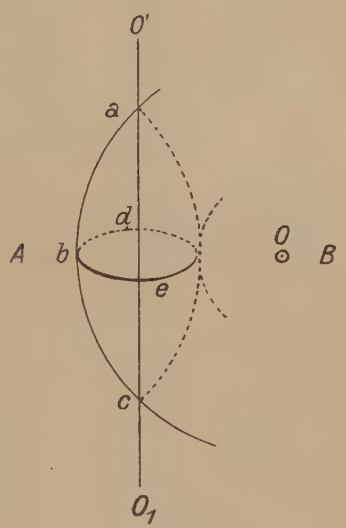


Fig. 95.

Wir wollen annehmen, daß in der ittelstellung in zwei senkrecht sich euzenden, mit ihrer Konvexität nach rselben Seite gerichteten kreisförmigen rofilen von ungleichem Krümmungslbmesser (abc und dbe in Fig. 95) erührung der beiden Gelenkkörper A nd B stattfindet. Sollen nun bei der ewegung zwischen A und B die in abc ch berührenden Profile unter Erhalng des Kontaktes aneinandergleien, so muß sich dabei der an der konven Seite dieses Profils befindliche örper B um eine zur Ebene des Profils abc im Mittelpunkt 0 seiner rümmnng senkrecht stehende Achse 00 drehen. Sein zweites Profil od beschreibt dabei eine Fläche, welche der Außenseite eines inges entspricht. Der Körper A muß sich bis an diese Fläche errecken und darf nicht weiter gehen, wenn die genannte Bewegung B öglich sein und der Kontakt des Profiles dbe von B in seinen verhiedenen Lagen mit der Oberfläche von A erhalten bleiben soll.

Wenn andererseits von der Mittelstellung aus die Bewegung so schehen soll, daß die in dbe sich berührenden Gelenkflächenprofile nter Erhaltung des Kontaktes aneinandergleiten, so kann das nur

vermittels einer Drehung von B gegenüber A um eine Achse 0'0' ge
schehen, welche zu der Krümmungsebene von d b e in ihrem Mittelpunkte
0 senkrecht steht. Das Profil a b c des Körpers A beschreibt dabei
eine Tonnen- oder Spindelfläche. Bis zu dieser hin und nur so weit
darf der Körper B sich erstrecken, wenn die genannte Bewegung möglich
und der Kontakt von B mit dem Profil a b c von A in allen seinen Lagen
erhalten bleiben soll. Ich verweise nun auf Fig. 96.

Die konvexe Gelenkfläche des Körpers A muß eine Hohlring-
fläche sein, welche sich um die Achse 0 0 herumkrümmt und deren
äußerster Umfang dem Profil a b c, deren äußeres Querprofil überall
dem Profil e b d entspricht, die konkave Gelenkfläche von B aber muß
eine Tonnen- oder Spindelfläche sein, die um die Achse 0'0' herum-
geht, mit a b c als Längsprofil und e b d als größtem Querprofil. Unter
dieser Bedingung kann sich die Spindel oder Tonne B in der Hohlrinne
von A dem Grund entlang gleitend verschieben und sich zugleich um sich
selbst drehen; es wird dabei stets eines der Längsprofile der Spindel mit
dem tiefsten Längsprofil der Hohlrinne, und immer ein Querprofil der
Rinne mit dem größten Querprofil der Tonne oder Spindel in Kontakt
sein. Die Bewegung ist durch die Verschiebung des **größten** Quer-
profils e b d der Tonnenfläche an dem **größten** Längsprofil a b c
des Grundes der Ringrinne charakterisiert. Diese beiden Profile glei-
ten aneinander unter Erhaltenbleiben der rechtwinkligen Kreu-
zung. Drehung ist möglich von jeder Stellung aus parallel den Ebenen
dieser beiden Profile, von denen das eine fest zu A, das andere fest zu B
ist, um Achsen, von denen ebenfalls die eine zu A, die andere zu B
feststeht. Natürlich ändert die erste dieser Achsen 00, die fest zu A ist,
ihre Lage zu B bei der Drehung von B um die in ihm festliegende Achse
0 0, und umgekehrt. Es wird Zwangslauf vorhanden sein bei Kraft-
schluß, welcher Berührung in mindestens drei nicht in der gleichen
Geraden liegenden Punkten erzwingt; d. h. es wird von jeder Stellung
aus bei Erhaltung des Kontaktes in zwei sich senkrecht kreuzenden
Hauptprofilen keine andere Bewegung möglich sein, als Drehung um
die zwei genannten Achsen der betreffenden Stellung. Die Berührung
wird immer nur in jenen zwei Profilen, dem größten Längsprofil der
Pfannenringfläche und dem größten Querprofil der Spindel- resp. Tonnen-
fläche des Gelenkkopfes stattfinden. Von ihnen aus müssen die Ge-
lenkflächen auseinanderweichen. Für jede Stellung bestehen also
bei Kraftschluß zwei und nur zwei Grade der Freiheit der
Bewegung, sofern wir die Gelenkflächen als inkompressibel ansehen.

Die Spindelfläche braucht nicht vollständig zu sein, sie muß aber
stets ein Stück des größten Umfanges der vollständig gedachten Spindel-
fläche enthalten. In der Pfanne aber muß ein Stück Außenwand der
Hohlringfläche enthalten sein.

Ein solches Gelenk kann als reines Hohlring-Spindelflächen-
gelenk oder als Hohlring-Tonnenflächengelenk bezeichnet werden.
Es stellt dasjenige „Ellipsoidgelenk" dar, welches das denkbar beste
und sicherste kongruente Drehgleiten ermöglicht, bei welchen stets in
zwei senkrecht sich kreuzenden Hauptprofilen der beiden Gelenkflächen

ollkommener Kontakt vorhanden ist. Ein solcher Kontakt bleibt ber nur erhalten, wenn der eine Gelenkkörper sich gegenüber dem nderen in jedem Augenblick parallel den Ebenen der jeweiligen Kon-ktprofile um Achsen dreht, welche senkrecht zu diesen Ebenen durch ie Mittelpunkte der Krümmungen dieser Profile gehen.

Das eine der beiden Berührungsprofile entspricht dem mittleren ängsprofil der Pfanne (äußerster Umfang der Hohlringfläche) und t in seiner Lage ein für allemal fest zu dem Gelenkkörper A, welcher e Pfanne bildet. Ebenso ist natürlich die Ebene dieses Profils und e dazu senkrecht stehende, rch den Mittelpunkt der Krüm-ung des Profils gehende Dre-ngsachse fest zum Pfannen-örper. Dagegen kann bald die-s, bald jenes Längsprofil der pindel mit dem mittleren ängsprofil der Pfanne zusam-enfallen. Andererseits ent-richt das zweite, dazu senk-chte Profil, in welchem beide elenkflächen sich berühren, ets dem mittleren (weite-ten) Querprofil der Spin-elfläche des Gelenkkopfes nd ist zu dem betreffenden elenkkörper (B) fest, ebenso ie die Ebene dieses Profils und ie senkrecht zu ihr durch den littelpunkt der Krümmung gehende Achse; in der Pfannenfläche aber erschiebt sich das betreffende Profil unter Beibehaltung seines Ver-aufes quer zum mittleren Längsprofil der Pfanne.

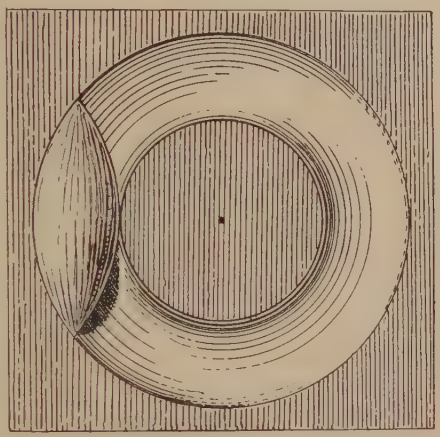


Fig. 96.

Wir können die beiden senkrecht zueinander stehenden Profile, in enen stets vollkommene Berührung stattfinden kann, und von denen as eine zur Pfanne (mittleres Längsprofil derselben), das andere zur pindelfläche (mittleres Querprofil derselben) feststeht, als die beiden Haupt- oder Kontaktprofile des Gelenkes oder als die Haupt- oder Kontaktprofile der beiden Gelenkflächen bezeichnen. Jede Gelenkfläche hat also nur ein solches in ihr nicht verschiebliches Hauptprofil.

Das Hohlringspindelflächengelenk bildet das Gegenstück zu der-enigen Form des Sattelgelenkes, welche wir als reines Ring-Ring-lächengelenk bezeichnet haben.

Die Drehungsachsen des Hohlring-Spindelflächengelenkes ehen ebenso wie diejenigen des Ring-Ringflächengelenkes für jede elenkstellung stets genau windschief aneinander vorbei, mit dem Unter-chied, daß die beiden Achsen bei dem ersten an der gleichen Seite er Gelenkspalte in verschiedener Entfernung liegen (der besondere all der gleichen Entfernung wäre das Kugelgelenk), bei der zweiten

Gelenkform aber die Gelenkspalte zwischen sich fassen (wobei der Schnittpunkt ihrer kürzesten Abstandslinie mit der Gelenkfläche entweder der einen oder der anderen Achse näher gelegen oder von beiden gleich weit entfernt sein kann).

Wir bezeichnen die Stellung, in welcher die Mitten der beiden Hauptprofile zusammenfallen, als Mittelstellung. Um die Nahepunkte der beiden Achsen kann man sich eine Kugelfläche gelegt denken, so groß, daß ihrem Radius gegenüber der Abstand der Achsen sehr klein ist. Den einen Gelenkkörper denkt man sich festgestellt, so stellt jene Kugelfläche die Exkursionsfläche dar; Punkte in derselben, welche mit dem beweglichen Gelenkkörper starr verbunden gedacht sind, verbleiben bei der Bewegung im Gelenk annähernd in dieser Kugelfläche.

Eine bestimmte Längslinie des bewegten Körpers, z. B. diejenige, welche auf der Mitte seines Hauptprofils auf seiner Gelenkfläche senkrecht steht (Hauptlinie), bewegt sich in einem bestimmten Verkehrsgebiet dieser Exkursionskugelfläche. Ihre jeweilige Lage und Richtung kann bestimmt werden, indem man die Kugelfläche mit zwei Liniensystemen versieht, welche sich im Bereich des Verkehrsgebietes annähernd senkrecht kreuzen und zu dem einen, als ruhend angenommenen Gelenkkörper feststehen. Die Linien, in welchen die Ebenen des Kontaktprofiles des bewegten Körpers die Exkursionskugelfläche treffen, sind größte Kreise, welche sich alle in einem bestimmten Durchmesser der Exkursionskugel schneiden. Dieser Durchmesser kann als Polachse für das Gradnetz angenommen werden.

Da in keiner Stellung eine Drehung des Mobile um seine Hauptlinie bei Kraftschluß möglich ist, so wird durch die Lage des Hauptpunktes in der Exkursionskugelfläche die jeweilige Stellung des Mobile vollkommen sicher und eindeutig bestimmt. Eine Linie des Mobile, welche im Hauptpunkt zur Hauptlinie senkrecht steht und einer bestimmten Hauptebene des Mobile entspricht (Querstäbchen), hat bei jeder Lage des Hauptpunktes eine ganz bestimmte Richtung in der Exkursionskugelfläche.

Wie auseinandergesetzt, bleibt der Kontakt in den zwei Kontaktprofilen erhalten: a) bei Drehung des Spindelkörpers gegenüber dem Pfannenkörper parallel der Hauptebene des mittleren (größten) Längsprofils der Pfanne um eine Achse, welche senkrecht zur Ebene des Hohlrings durch dessen Mitte geht. Bei jeder derartigen Drehung bewegt sich der Hauptpunkt des Spindelkörpers in einer Kreislinie, welche senkrecht zur Drehungsachse steht, um die letztere. Versieht man die Exkursionskugelfläche mit einem Gradnetz, entsprechend demjenigen eines Erdglobus, das zur Pfanne feststeht, und wählt dabei als Polachse die genannte Drehungsachse, so geschieht die betreffende Verschiebung des Hauptpunktes des Mobile (des Spindelkörpers B) in einem Parallelkreis, als Drehung um die Polachse. Das Querstäbchen und die damit markierte Ebene des Kontaktprofils des Spindelkörpers fallen dabei stets mit einem Meridian des Gradnetzes zusammen.

b) Der Kontakt in den Kontaktprofilen bleibt ferner erhalten bei jeder Drehung parallel der Ebene des festen Kontaktprofiles der Spindelfläche (ihres mittleren, weitesten Querprofiles) um die Längsachse der Spindel. Bei jeder solchen Drehung bewegt sich der Hauptpunkt in einem Meridian der Extensionskugel. Das Querstäbchen und die damit markierte Ebene des Kontaktprofils fallen mit diesem Meridian zusammen. Von jeder Ausgangs- oder Durchgangs

tellung aus, für welche sich die Gelenkflächen in den Kontaktprofilen berühren, önnen kleine initiale Drehungen um die genannten zwei Drehungsachsen der betreffenden Stellung in beliebigem Verhältnis kombiniert werden. Für jede neue tellung ist die Lage und Richtung der Achse der ersten Drehung zum Gelenkörper des Mobile (B) und ist die Lage und Richtung der Achse der zweiten Drehung um Gelenkkörper A (also zur Pfanne und zum Gradnetz der Exkursionskugel) ine andere.

Ganz analoge Verhältnisse haben wir beim reinen Ring-Ringlächengelenk kennen gelernt. Wir könnten das reine Hohlringspindellächengelenk als ideales Ellipsoidgelenk oder Ovalgelenk, das eine Ring-Ringflächengelenk als ideales Sattelgelenk bezeichnen, enn diese Ausdrücke nicht von O. Fischer (1897) in anderer Weise erwendet worden wären, und wenn nicht bereits René du Bois Reymond 1895 wieder in anderem Sinn von einem idealen Sattelgelenk esprochen hätte (s. unten).

b) Das Radiokarpalgelenk ein modifiziertes Hohlringflächenspindelgelenk mit Kompromißachsen.

Es erhebt sich nun naturgemäß die Frage, ob das Radiokarpalelenk ein solches Hohlring-Spindelgelenk mit bloß zwei Graden der reiheit der Drehung für jede Stellung darstellt. Die vom Vorderarm ebildete Pfanne müßte dann als ein Stück aus der Außenwand eines

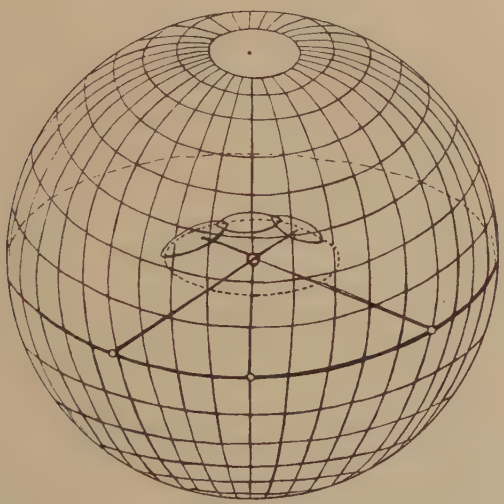


Fig. 97. Exkursionskugel des Radio-Karpalgelenkes.

Hohlringes aufgefaßt werden, dessen Hauptebene mit der Ebene des mittleren Radioulnarprofils (annähernd mit der Hauptebene des Radius) zusammenfällt (aus derselben distalwärts etwas nach der Volarseite abweicht); die Erzeugungsachse dieser Fläche würde annähernd dorso-

volar (zugleich etwas proximalwärts) zur Hauptebene des Radius gerichtet und distalwärts von der Gelenkpfanne gelegen sein. Die proximale Gelenkfläche der ersten Handwurzelreihe aber wäre aufzufassen als Teil der Oberfläche einer Spindel, welche vom proximalen Rand des Carpus gebildet ist und deren Längsachse radioulnar zur Hand verläuft. Im tiefsten, radioulnaren Profil der Pfanne und am größten mittleren, queren (dorsovolaren) Profil der Spindelfläche würde stets Kontakt vorhanden sein. Bei vollständig starren Gelenkflächen und völligem Kraftschluß würden nur Stellungen möglich sein, bei welchen sich diese beiden Hauptprofile senkrecht kreuzen, und aus diesen Stellungen heraus nur je zwei Drehungen:

a) um die zur ersten Handwurzelreihe feste, radioulnar zur Hand verlaufende Längsachse der Spindel als Dorsal- und Volarbewegung, parallel einer Längsebene der Hand, welche zur Hauptebene derselben senkrecht steht;

b) um eine annähernd dorsovolar zur Hauptebene des Radius verlaufende, zu ihm feststehende Achse als Radial- und Ulnarbewegung parallel einer Ebene, welche dem tiefsten radioulnar (zum Radius) verlaufenden mittleren Längsprofil der Pfanne entspricht.

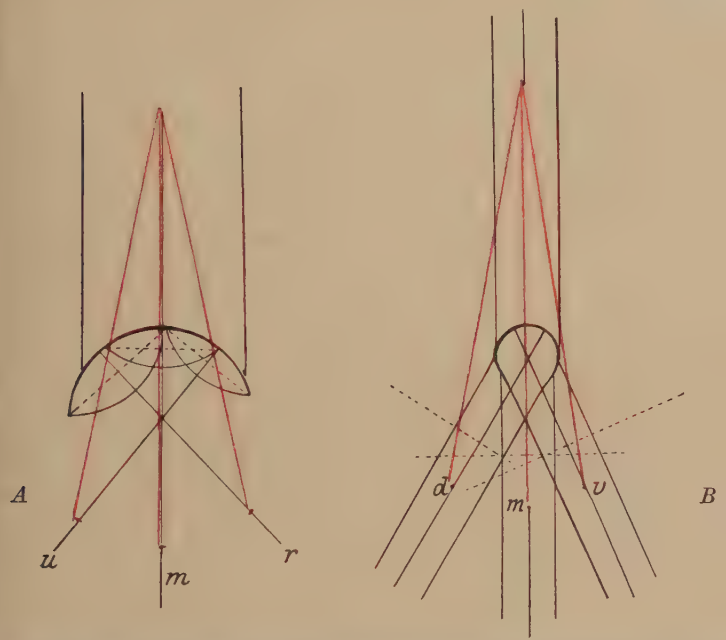
Tatsächlich zeigen nun die Gelenkflächen des Radiokarpalgelenkes zwar eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Verhalten einer Ringrinnenfläche bei der Pfanne, einer Tonnen- oder Spindelfläche beim Gelenkkopf. Doch ist die Übereinstimmung keine vollkommene. Auch besteht weder in der ganzen Länge des tiefsten Radioulnarprofils der Pfanne, noch in dem größten Querprofil des Kopfes vollkommener Kontakt. Die Bewegungsmöglichkeit kann demnach auch bei Kraftschluß nicht vollkommen auf die zwei Drehungen parallel diesen beiden Profilen eingeschränkt sein. Es sind offenbar auch etwas davon abweichende Drehungen der Hand bei ungefähr gleich gutem Kontakt ausführbar.

Daß reine zweiachsige Gelenke nach unserer obigen Definition (mit Kontakt der Hauptprofile) unter den organischen Gelenken nicht vorkommen, begreift sich nun bei näherer Überlegung ganz gut.

Zur Bedienung eines organischen Gelenkes, dessen Gelenkflächen in zwei Richtungen verschieden gekrümmt sind, stehen erfahrungsgemäß im allgemeinen vier Muskelgruppen zur Verfügung, welche sich paarweise an den entgegengesetzten Seiten der beiden Krümmungen gegenüberstehen, wobei nicht ausgeschlossen ist, daß der gleiche Muskel beiden Paaren angehören kann. Diese Muskeln überspringen das Gelenk in der Mittelstellung annähernd in der Längsrichtung. Wahrscheinlich ist die Art der Muskelanordnung bereits von Bedeutung gewesen bei der Ausbildung der Gelenkform und bietet dann auch die beste Gewähr für die Erhaltung derselben. Reine Hohlrinnenspindelflächen- oder Ring-Ringflächengelenke aber müßten jederzeit selbst im späteren Leben noch durch den Einfluß einer derartig angeordneten Muskulatur im Sinne einer Verminderung der Kongruenz modifiziert werden, indem die Muskeln für die Herbeiführung abweichender Bewegungen wirksam sind, ein allfälliger, in den Gelenkflächen selbst gelegener Zwang aber

ur Beschränkung der Bewegung auf die beschriebenen zwei Grade er Freiheit nur ein sehr leicht zu überwindendes Hindernis darstellen ürde.

Am wenigsten Ursache zur Modifikation der Gelenkform würde ffenbar dann gegeben sein, wenn die Muskeln, welche die beiden Dre- ungen parallel den zwei Kontaktprofilen in der Mittelstellung bewirken, derzeit genau in Form zweier Muskelschlingen in den Ebenen der eiden Kontaktprofile verlaufen könnten. Solches ist nun in Wirk- chkeit niemals vollkommen genau realisierbar. Wenn auch in einer estimmten Stellung, z. B. der Mittelstellung, die Bedingung erfüllt



ig. 98. Deviation der Sehnen im Radiokarpalgelenk, schematisch. *A* Radialulnarbewegung, *B* Dorsalvolarbewegung.

st, so müssen doch in den abgelenkten Stellungen die Muskelchlingen aus den Ebenen der Hauptprofile (Hauptdrehungsbenen) herausgehoben werden, und zwar muß die Ablenkung eines Muskels (seiner „maßgebenden Strecke") gegenüber der Richtung der eiden Hauptebenen, mit welchen er in der Mittelstellung zusammenällt, gerade die Hälfte der Ablenkung des einen Gliedes gegenüber em anderen betragen, wenn Ursprungspunkt und Insertionspunkt des Muskels (seiner „maßgebenden Strecke") gleich weit vom Gelenkmittelunkt entfernt sind. Je kleiner aber der Abstand der Anheftung des Muskels (seiner „maßgebenden Strecke") vom Gelenk am einen Glied

im Vergleich zum Abstand des Anheftungspunktes am anderen (zweiten Glied vom Gelenk ist, desto größer ist die Richtungsänderung des Muskels gegenüber dem ersten, und desto geringer ist sie gegenüber dem zweiten Glied (s. Fig. 98).

Am Handgelenk liegen im allgemeinen bei den darüber hinweggehenden Extensorensehnen die proximalen, bei den Flexorensehnen die distalen Insertionspunkte der maßgebenden Strecken näher dem Gelenk. Erstere behalten also besser ihre ursprüngliche Richtung zur Hand, letztere besser ihre ursprüngliche Richtung zum Vorderarm bei. Jedenfalls aber geht aus der vorstehenden Betrachtung hervor, daß weder bei der Dorsalvolar- noch bei der Radialulnarbewegung irgend eine der über das Handgelenk hinweggehenden Muskelschlingen ihre ursprüngliche, in der Mittelstellung gegebene Richtung zu den Hauptkrümmungsprofilen der beiden Gelenkkörper beibehalten kann. Die drehenden Einflüsse zur Dorsalvolarbewegung wirken also bei radial- oder ulnarwärts abgelenkter Hand nicht mehr genau parallel der Ebene des dorsovolaren Hauptprofils der Pfanne, aber auch nicht ganz parallel dem dorsovolaren Hauptprofil des Gelenkkopfes, sondern parallel einer intermediären Ebene, welche eine mittlere Richtung hat zu den Ebenen der beiden genannten Hauptprofile. Ganz analog verhält es sich mit den drehenden Einwirkungen zur Radial-Ulnarbewegung in dorsal- oder volarwärts abgelenkten Stellungen (Figg. 99 und 100).

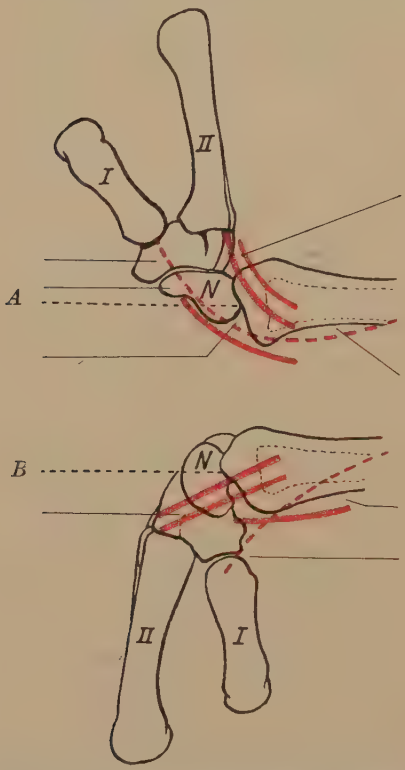


Fig. 99. Umstellung der Sehnen bei der Dorsalvolarbewegung im Radiokarpalgelenk, vom Radialrand her gesehen.

Die Muskeln zur Radial- und Ulnarbewegung stellen sich bei dorsalwärts und volarwärts abgelenkter Hand zu der radioulnaren Hauptebene der Hand mehr und mehr schräg, und zwar gilt dies namentlich für die volaren Muskeln bei der Volarablenkung; sie weichen aber auch mehr und mehr von der Ebene des radioulnaren Hauptprofils der Pfanne ab und dies gilt namentlich für die dorsalen Muskeln bei der Dorsalablenkung. Infolge davon kombiniert sich namentlich bei volarwärts abgelenkter Hand, bei Anspannung der radialen Muskeln, mit der Radialbewegung in der Ebene der Hand ein Einfluß zur pronatorischen Längsdrehung der Hand im Radiokarpalgelenk, bei Anspannung der ulnaren Muskeln mit der Ulnarbewegung ein Einfluß zur supinatorischen Längsdrehung.

Auch bei der Radial- und Ulnarablenkung bleiben die Extensorensehnen

mehr in der Richtung der Hand, die Flexoren behalten besser ihre Richtung zum Vorderarm, so daß bei Kontraktion der Volarbeuger die Bewegung namentlich in diesen abgelenkten Stellungen mehr in dorsovolaren Längsebenen des Vorderarms als in solchen der Hand vor sich geht.

Es ist deshalb, wenn wir den Muskeln einen Einfluß auf die Ausgestaltung der Gelenkform zuschreiben dürfen, sehr unwahrscheinlich, daß sich im Radiokarpalgelenk der Typus eines reinen Hohlring-Spindelflächengelenkes ohne Modifikation vorfindet. Wir erwarten vielmehr eine Form der Gelenkflächen, welche gestattet, daß bei Dorsal- oder Volarablenkung der Hand die Achse für die Radial- und Ulnarbewegung ihre Richtung zum Radius ändert und einigermaßen, wenn auch nicht vollkommen, der Hand folgt, also besser dorsovolar zur Hauptebene des Carpus gerichtet bleibt. Die Dorsovolarbewegung der Hand aber

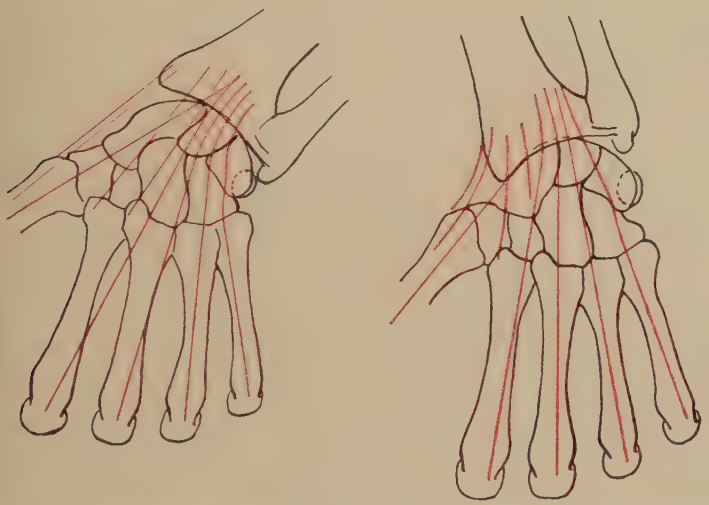


Fig. 100. Umstellung der dorsalen Sehnen bei der Radialulnarbewegung im Radiokarpalgelenk.

wird bei radialwärts oder ulnarwärts abgelenkter Hand nicht mehr genau um die radioulnar zur Hand verlaufende Achse der spindelförmigen proximalen Gelenkfläche stattfinden. Vielmehr wird die Achse der Dorsovolarbewegung der Hand bei gleichzeitiger Radial- oder Ulnarablenkung nur unvollkommen der Hand folgen und besser radioulnar zum Ende des Radius gerichtet bleiben. Man könnte von einem Kompromiß und von Kompromißachsen sprechen.

Ein solcher Kompromiß ist nur dadurch möglich, daß die Gelenkflächen nach den Rändern zu mehr auseinanderklaffen, als es beim einen Hohlring-Spindelflächengelenk der Fall sein dürfte, und daß insbesondere auch am mittleren radioulnaren Längsprofil der Pfanne und im mittleren queren dorsovolaren Profil der Gelenkkopffläche in der

Mittelstellung kein vollständiger Kontakt, sondern ein Klaffen von der Mitte aus vorhanden ist; durch stärkeren Kraftschluß bei genügend reichlicher weicher Knorpelbepolsterung der Gelenkflächen kann freilich diese Inkongruenz vorübergehend vermindert werden.

Die Beobachtung der Verhältnisse des Gelenkes lassen sich in der Tat mit einer solchen Annahme wohl vereinigen; daß aber die Drehungen im Gelenk um intermediäre Achsen oder, wie ich sie nennen möchte, um Kompromißachsen vor sich gehen, welche eine mittlere Richtung haben zwischen einem Verlauf senkrecht zur Hauptlinie des einen und senkrecht zur Hauptlinie des anderen Gelenkkörpers, und zwar sowohl was die radioulnare als was die dorsovolare Achse betrifft, geht aus den Untersuchungen von O. Fischer mit Sicherheit hervor.

4. Gilt für das Radiokarpalgelenk das Listingsche Gesetz?

W. Braune und O. Fischer glauben den Nachweis erbracht zu haben, daß die Stellungen und Stellungsänderungen der intrakarpal versteiften Hand im Radiokarpalgelenk dem Listingschen Gesetze entsprechen. Sie fanden, daß ein mit der Hauptlinie der Hand, wo sie die Exkursionskugelfläche trifft, fest verbundenes, bei der Mittelstellung des Gelenkes genau dorsovolar zur Hauptebene des Radius verlaufendes Querstäbchen in irgend einer seitlich (radialwärts oder ulnarwärts) abgelenkten Stellung der Hauptlinie nicht genau in der Richtung des vertikalen Meridians der Hauptlinie eingestellt ist (die Polachse der Exkursionskugel ist dorsovolar zur Hauptebene des Radius und vertikal angenommen), aber auch nicht in der Richtung des vertikalen Parallelkreises, welcher der Hauptlinie des Vorderarmes parallel läuft, sondern in der Richtung eines dazwischen gelegenen vertikalen Kreises der Exkursionskugelfläche. Er fällt nach Braune-Fischer mit dem vertikalen Richtungskreis zusammen, welcher den proximalen Pol der Exkursionskugelfläche (den Schnittpunkt der letzteren mit der Hauptlinie des Radius) trifft. Ein Querstäbchen aber, welches in der Mittelstellung des Gelenkes mit dem Äquator zusammenfällt, ist in irgend einer dorsalen oder volaren Stellung der Hand nicht genau in den horizontalen der Radiushauptebene parallellaufenden Parallelkreisen des Gradnetzes der Exkursionskugel eingestellt und fällt auch nicht genau in einen von der radialen zur ulnaren Seite gehenden Meridian, welcher den Äquator der Exkursionskugel in 90° Entfernung von der Hauptlinie des Radius trifft, sondern hat eine intermediäre Richtung zwischen beiden. Er liegt nach Braune-Fischer in einem radioulnaren Richtungskreis, welcher durch den proximalen Pol der Exkursionskugel durch den Punkt, in welchem die Hauptlinie des Radius die Exkursionskugel schneidet, hindurchgeht.

Über die Tatsache der intermediären Lage des Querstäbchen zwischen vertikalem Meridian und vertikalem proximodistalem Parallelkreis, resp. zwischen radioulnarem Meridian und horizontalem Parallelkreis scheint mir kein Zweifel zulässig zu sein. Sie steht in guter Übereinstimmung mit unseren obigen Auseinandersetzungen und findet durch

eselben erst ihre richtige Erklärung. Bleibt die Achse für die Radio- narbewegungen dorsovolar zum Radius, wie in einem reinen Hohl- ng-Spindelflächengelenk, so bewegt sich der Hauptpunkt mit seinem der Mittelstellung dem Äquator entsprechenden Querstäbchen ent- ng dem Parallelkreis um die betreffende dorsovolare Polachse; bleibt er die Achse dorsovolar zur Hauptebene der Hand, so erfolgt die ewegung entlang dem Meridian gegen eine Polachse, welche radio- nar (zum Radius) verläuft. Die wirkliche Richtung der Drehungs- hse ist eine intermediäre, so daß die Bewegung des Hauptpunktes d die Einstellung des Querstäbchens notwendig einem Zwischen- reis entsprechen muß usw.

Dagegen halte ich es nicht für vollkommen sicher erwiesen, daß le die Zwischenkreise nun wirklich genau gerade den hinteren Pol r Exkursionskugel treffen. Vielmehr halte ich es für möglich, daß e gegen andere Punkte der Hauptlinie des Radius zwischen dem Mittel- nkt der Exkursionskugel und einer unendlich weit proximalwärts ntfernt liegenden Stelle und dann nicht alle nach dem gleichen Punkt n konvergieren.

Die beiden Autoren bedienten sich zu ihren Ermittelungen eines geniösen Schattenprojektionsverfahrens. Die Versuche wurden an r nicht präparierten Leiche angestellt. Die Methode ist wohl in erücksichtigung der nicht zu vermeidenden Willkürlichkeit in der instellung der Hand und in Anbetracht, daß die verwendete Me- ode der Schattenprojektion immerhin etwas unsicher ist, trotz noch exakter mathematischer Ausrechnungen nicht genau genug, um mit icherheit die Richtung der Zwischenkreise zu bestimmen.

Ein Zwang zur Orientierung genau nach den Richtungskreisen nach dem Listingschen Gesetz) ist wohl nur dann gegeben, wenn n einem Gelenk die Muskeln genau längs zur Mittellinie der Mittel- tellung angeordnet und an allen Seiten resp. an vier Hauptseiten des Gelenkes sich vollständig übereinstimmend verhalten, und wenn außer- em die Möglichkeit der Ausbildung einer kugligen Gelenkfläche (Dre- ung um einen Mittelpunkt) gegeben ist. Diese Bedingungen sind nicht inmal am Auge vollkommen erfüllt und muß hier, wie wir am Schluß es II. Bandes dieses Lehrbuches ausgeführt haben, wahrscheinlich noch in psycho - physiologisches Prinzip mitgewirkt haben. Wohl dürfen ir sagen, daß das Vorhandensein von bloßen Längsmuskeln n allen vier Seiten des Radiokarpalgelenkes die Ausbildung on wesentlich zwei Graden der Freiheit der Bewegung in diesem Ge- enk und die Einstellung des Mobile nach zwei Systemen von Zwischen- reisen, welche sich senkrecht kreuzen, also die geringere oder rößere Annäherung an eine Einstellung nach dem Listing- chen Gesetz verständlich macht und erklärt.

Zu einer vollkommenen Erfüllung des Listingschen Gesetzes agegen sind beim Radiokarpalgelenk die Bedingungen wohl von vorn- erein nicht vorhanden. Weder in der Skelettanlage selbst, noch n den Muskeln haben wir hier nach allen vier Hauptseiten vollkommen bereinstimmende Verhältnisse.

5. Das Hohltonnenflächen-Ringgelenk.

Denkt man sich einen Ring um eine Achse gedreht, welche in der Hauptebene des Ringes senkrecht zu einem bestimmten größten Durchmesser des Ringes verläuft, aber diesen Durchmesser nicht in der Mitte sondern an irgend einem Punkt zwischen der Mitte und der äußersten Peripherie dieses Ringes trifft, so beschreibt der kleinere, durch die Achse abgetrennte Teil des äußersten Ringumfanges eine Spindelfläche; ein mittlerer Abschnitt derselben stellt eine Tonnenfläche dar. Mit einer solchen, wenn sie nur einem bestimmten kurzen Abschnitt der Ringperipherie entspricht, kann der Ring in gleitender Berührung

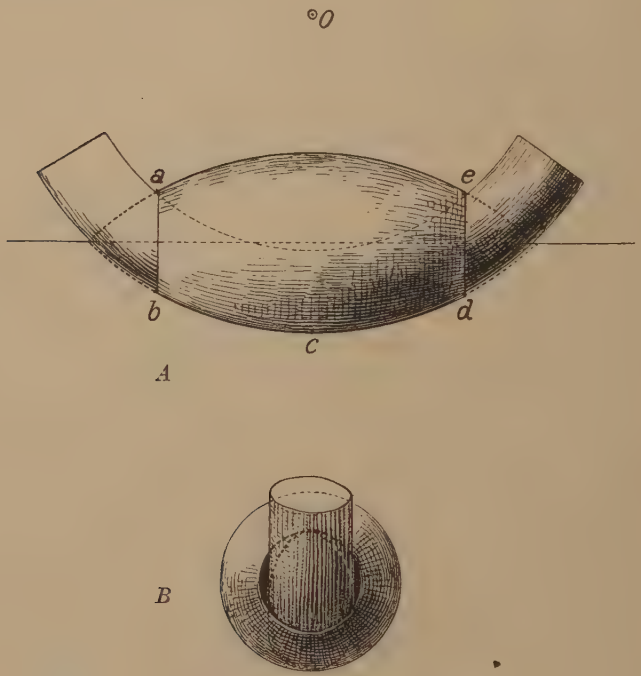


Fig. 101. Das Hohltonnenringgelenk (Schema).

bleiben, indem er sich so um jene Achse dreht, daß stets sein größter Umfang mit einem Längsprofil der Tonnenfläche in Kontakt steht. Ferner ist von irgend einer auf diese Weise gewonnenen Stellung des Ringes in der Pfanne eine Drehung des Ringes in seiner Hauptebene um eine dazu senkrecht stehende Mittelpunktsachse möglich, wobei die größte Peripherie des Ringes in dem Längsprofil der Pfanne, mit dem sie zusammenfällt, unter Kontakt weitergleitet. Die erste der genannten Drehungen geschieht um die zur Pfanne feststehende Erzeugungsachse der Pfannenfläche (Tonnenfläche), die zweite Drehung geschieht um

eine Achse, welche zum Ring feststeht; in Querprofilen des Ringes und der Pfanne kann nirgends ein vollkommener Kontakt vorhanden sein.

Die Tonnenfläche kann nach den Polen hin so weit verlängert sein, daß ihre kreisförmigen Ränder die innere Peripherie des Ringes berühren. Dann läßt sich der Ring wie in einer Zwinge in fester Fassung von jeder Stellung aus um zwei Achsen drehen, von denen die eine der Achse der Tonne entspricht, die andere senkrecht zur Hauptebene des Ringes durch seine Mitte geht; er berührt aber die Ränder der Tonnenfläche je nur in zwei einander gegenüberliegenden Punkten (a und b, c und d in Fig. 101 A). Wird nur die eine Längseite der Tonnenfläche oder ein Teil derselben als Pfanne benutzt, so fällt die zwingenartige Fassung des Ringes, wie wir sie bei vielen Vorrichtungen der Technik finden (z. B. Türklopfer alten Systems, Handhaben von Schubladen) dahin. Immerhin klaffen Pfanne und Gelenkkopf an den Endrändern der Hohltonnenfläche der Quere nach weniger als in der Mitte, so daß Nebendrehungen (Drehungen um Durchmesser des Ringes, welche auf der Pfanne senkrecht stehen und Seitwärtsrollen des Ringes in der Pfanne) bei Kraftschluß nur in geringem Umfang möglich sein werden.

Man könnte ein solches Gelenk ein Hohltonnenflächen-Ringgelenk nennen. Die Bewegung ist in demselben, wenn die Tonnenfläche nicht rings herum geht, weniger vollkommen auf zwei Grade der Freiheit eingeschränkt, als bei dem reinen Hohlring-Spindelgelenk. Die Kongruenz ist weniger vollkommen. Eine solche Beschaffenheit der Gelenkflächen müßte man beim Radiokarpalgelenk erwarten, wenn die Dorsalbewegung um eine zum Radius feste, die radioulnare Bewegung aber um eine zur ersten Handwurzelreihe feste Achse stattfände.

6. Das Kompromißgelenk und das ideale Gelenk mit zwei Graden der Freiheit nach O. Fischer.

Indem nun die Achse der Dorsovolarbewegung tatsächlich nicht vollkommen fest und unveränderlich ist zur ersten Handwurzelreihe, sondern bei der Radial- und Ulnarbeugung vielmehr ihre Lage zum Radius in geringerem Maße ändert, und indem andererseits die Achse der Radioulnarbewegung nicht vollkommen fest zum Radius ist, sondern bei der Dorsal- und Volarablenkung der Hand der letzteren etwas folgt und besser dorsovolar zu derselben verbleibt, ist zu erwarten, daß hinsichtlich der Gelenkflächen das Radiokarpalgelenk eine Art **Zwischenform** darstellt zwischen einem reinen Hohlringflächen-Spindelgelenk und einem Hohltonnenflächen-Ringgelenk, resp. daß es vom reinen Hohlring-Spindelgelenk nach der Seite des Hohltonnen-Ringgelenkes zu abweicht.

In der Tat scheint die dorsovolare Krümmung der Gelenkflächen in der Mitte der Pfanne flacher, am Gelenkkopf enger, am radialen und ulnaren Ende aber umgekehrt an der Pfanne enger und am Kopf flacher gekrümmt, als es beim reinen Hohlring-Spindelflächengelenk der Fall sein würde. Was aber die mittleren radioulnaren Profile betrifft, von welchen dasjenige der Pfanne am Hohlring-

spindelgelenk und dasjenige des Kopfes am Hohltonnenringgelenk stets mit der gegenüberliegenden Gelenkfläche in Kontakt bleibt, so müßten zwei solche Profile, wenn sie am Kompromißgelenk in der Mittelstellung zusammenfallen, in abgelenkten Stellungen bald hier, bald dort in die gegenüberliegenden Flächen hineindringen. Soll die Kompromißbewegung möglich sein, so müssen also auch sie in der Mittelstellung nach den Enden hin auseinanderweichen. Starrheit der Gelenkflächen vorausgesetzt, muß also jedenfalls am Kompromißgelenk die Inkongruenz der Gelenkflächen noch größer sein, als an dem ihm am nächsten stehenden Hohlringspindelgelenk oder Hohltonnenringgelenk. Tatsächlich ist solches am Radiokarpalgelenk der Fall, wie Gefrierschnitte und Röntgenbilder lehren. Ganz dasselbe gilt aber auch für das Sattelgelenk an der Basis des Daumenstrahles. René du Bois Reymond hat für dieses durch Messungen gezeigt, daß seine Gelenkflächen auch in den Hauptprofilen nach den Rändern hin klaffen (1895). Er wurde dadurch zu der Annahme geführt, daß in diesem Gelenk die Drehung wesentlich als Rollbewegung vor sich geht, und hat aus dieser Annahme den Typus des „idealen Sattelgelenkes" abgeleitet. Doch überzeugte er sich später (1897) durch Röntgenuntersuchungen, daß es sich auch hier um Drehgleiten handelt.

Das Kompromißgelenk mit starren Gelenkflächen ist in der Mittelstellung nicht mehr ein Gelenk mit bloß 2 Graden der Freiheit bei Kraftschluß, sondern erlaubt kleine längsrotatorische Nebenbewegungen. Je größer die seitliche Ablenkung, desto ausschließlicher gestattet es nur die mit der Drehung um die Kompromißachse implicite verbundene Nebendrehung, da ja die Gelenkform nur gerade so weit modifiziert ist, daß diese Nebendrehung ermöglicht wird. Dem Kraftschluß ist gleichsam eine einseitig gerichtete längsrotatorische Nebenkomponente beigefügt. Am Gelenkpräparat ohne Mitwirkung von Kräften, welche dem Muskelzug entsprechen, kann die Ablenkungsbewegung auch so erfolgen wie im reinen Hohlringspindel- oder Hohltonnenringgelenk unter Hinzufügung von etwas Rollbewegung zum Drehgleiten. Am Lebenden aber, wo der Kraftschluß durch die Muskeln mit seiner längsrotatorischen Komponente wirkt, vergrößert sich mit fortschreitender Ablenkung die Breite des Kontaktes und die Sicherheit der Führung im Sinne der Einschränkung der Bewegung auf 2 Grade der Freiheit.

Welche Rolle spielt nun die Deformierbarkeit des Knorpelüberzuges der Gelenkflächen? Offenbar kann durch sie an Stellen, wo bei starren Flächen der Kontakt auf einen Punkt oder eine Linie, auf zwei Profile oder überhaupt auf ein enges Feld lokalisiert wäre, der Umfang des Kontaktes verbreitert werden durch Kompression des Knorpels und Wegdrängung nach den Seiten. Die Voraussetzung ist also, daß ohne die Kompression die Gelenkflächen seitlich auseinanderweichen. Die Deformation wird sich in den Mittelstellungen mehr in der Mitte, in den abgelenkten Stellungen mehr in den Randteilen des Knorpelüberzugs abspielen. Die Gestalt der Oberfläche des Knorpels im nicht komprimierten Zustande wird also doch im großen und ganzen derjenigen entsprechen, welche wir bei fehlender Deformierbarkeit erwarten müßten. In jeder Stellung wird bei wirksamer Kraftstellung die Sicherheit der Fixation etwas erhöht, der Reibungswiderstand gegen die Bewegung, auch gegen die typische Bewegung vergrößert. Natürlich muß die durch Kompression entstehende breitere Kontaktfläche eine intermediäre Lage und Gestalt haben gegenüber jenen auseinanderweichenden starren Flächen. Im übrigen aber hat die Kontaktfläche

durchaus nichts Typisches. Sie ist der Ausdehnung nach beschränkt und für irgend eine Stellung nicht die geometrische Fortsetzung der Kontaktfläche einer Nachbarstellung. Man kann sich dieselbe nicht nach bestimmtem Gesetz fortgesetzt denken zu der Gelenkfläche eines idealen Gelenkes, welches nur zwei Grade der Freiheit der Bewegung gestattet. Damit ist der Standpunkt gekennzeichnet, den wir gegenüber dem von O. Fischer aufgestellten „idealen Oval- und Sattelgelenk" einnehmen.

In einem bemerkenswerten Aufsatz: Über Gelenke mit 2 Graden der Freiheit (Arch. f. Anat. u. Phys. Anat. Abt. 1897. Suppl.) und an anderen Orten (z. B. Physiolog. Mechanik, Enzyklop. d. math. Wiss. IV_2. II. Heft. 1. 1903) hebt O. Fischer hervor, daß nur die Zylindermantelfläche zwei Grade der Freiheit der Bewegung bei völliger Kongruenz der Gelenkflächen besitzt. Die übrigen Gelenke, welche beim Lebenden zwei Grade der Freiheit aufweisen, zeigen in Wirklichkeit am Präparat drei Grade der Freiheit. Die eine Art der Bewegung (gewöhnlich die Drehung des einen Gelenkkörpers um die Längsachse) ist entweder schon durch die Gestalt der Gelenkflächen eingeschränkt, oder durch Bänder verhindert, oder am Lebenden durch den Mangel an längsrotatorischen Muskelkomponenten, oder bei Anwesenheit von solchen durch mangelnde Übung im Gebrauch derselben ausgeschaltet. O. Fischer erläutert nun ganz richtig, wie die Oval- und Sattelflächen beschaffen sein und auseinanderweichen müssen, wenn zwischen ihnen zwei Drehungen möglich und eine dritte Drehung ausgeschlossen sein soll; es hänge dies ganz besonders ab von der Verschiedenheit der Krümmung der Flächen in ihren beiden Richtungen. (Man kann ja auch wirklich das Sattelgelenk als einen Spezialfall mit besonders großer Verschiedenheit der Krümmung auffassen.) Weiterhin meint aber O. Fischer, die Bewegung um Querachsen sei bei Ausschluß der Längsrotation dann mit geringster Deformation der Gelenkflächen verbunden, wenn die Gelenkkörper in einer Oval- oder Sattelfläche zusammenstoßen, welche, nach unserer Bezeichnungsweise, intermediär liegt zwischen einer Hohlringfläche und der damit in zwei gekreuzten Profilen zusammenstoßenden Spindelfläche beim Ovalgelenk, und zwischen den beiden Ringinnenflächen beim Sattelgelenk. Hierin können wir dem verdienten Autor nicht folgen und ebenso wenig in der Aufstellung eines „idealen Oval- und Sattelgelenkes", deren Gelenkflächen solchen Flächen entsprechen würden, die geometrisch nicht definierbar, sondern nur durch ihre intermediäre Lage zwischen zwei geometrisch genau bestimmten Flächen charakterisiert seien.

Der Lehre von O. Fischer gegenüber muß betont werden, daß das beste Oval- und Sattelgelenk mit breitestem Kontakt und bester Beschränkung der Bewegung auf 2 Grade der Freiheit im Hohlringelspindelgelenk und im Ring-Ringgelenk gegeben ist. Bei starren Gelenkflächen findet Berührung jeweils nur in zwei sich senkrecht kreuzenden Profilen statt. Durch Deformation des Knorpels kann der Kontakt etwas verbreitert werden. Diese Deformation darf aber nur eine beschränkte sein. Guten Kontakt, in einem Hauptprofil, weniger vollkommen in 2 Nebenprofilen gewährt das Hohltonnenringgelenk. Keine dieser Gelenkformen kann im tierischen Körper rein verwirklicht sein, wegen des modifizierenden Einflusses des Muskelzuges. Die Anordnung der Muskeln, wesentlich nur in der Längsrichtung eines Gelenkes, welche die Bedingung ist für die Entstehung von Gelenken mit zwei Graden der Freiheit, muß immer zur Bildung eines „Kompromißgelenkes" führen, an welchem, selbst in Mittelstellungen nur in kleinen Profilstücken genauerer Kontakt vorhanden ist. Längsrotationen sind an und für sich in diesem Gelenk möglich, doch geschehen sie am Lebenden im allgemeinen nur unter dem Einfluß des Muskelzuges in zwangs-

mäßiger Kombination mit Ablenkungsbewegungen um quere Achsen, so daß für die aktiven Bewegungen der Charakter eines Gelenkes mit zwei Graden der Freiheit erhalten bleibt.

7. Die Frage der Fixationsbänder am Ellipsoidgelenk.

Wir wollen zum Schluß die Frage untersuchen, ob an einem reinen Hohlringflächenspindelgelenk Bänder vorhanden sein können, welche in jeder Gelenkstellung die zwei zueinander senkrecht stehenden Drehungen zulassen, dabei aber gespannt bleiben und die Abhebung der Gelenkflächen voneinander in den Kontaktprofilen und andere Nebenbewegungen hindern. Solche Bänder müßten an den beiden Gelenkkörpern da angeheftet sein, wo die zu ihnen feststehenden Achsen ihre Knochenoberfläche verlassen. An der Oberfläche des Carpus (1. Handwurzelreihe) könnten allenfalls an dem radialen und ulnaren Rand zwei Anheftungspunkte für die Bänder in der Nähe der zum Carpus festen radioulnaren Spindelachse liegen. Was aber die zum Radius feste dorsovolare Achse betrifft, so liegt diese weit distal vom Radius, so daß eine antibrachiale Anheftung von Bändern in ihrer Nähe nicht möglich ist. Aber selbst wenn der Radius sich mit Fortsätzen bis in diese Achse verlängern würde, so wäre die Hand durch die hier angehefteten Bänder doch nur proximalwärts wirkenden, aber nicht distalwärts gerichteten abhebenden und abhebelnden Kräften gegenüber fixiert, indem die Befestigungspunkte am Radius weiter distal liegen würden als diejenigen des Carpus.

Entspräche aber das Radiokarpalgelenk einem Hohltonnen-Ringgelenk, so könnten eher Gelenkbänder gefunden werden, welche die Bedeutung von Fixationsbändern haben, indem sie sich am Carpus und am Vorderarm an Punkten ansetzen könnten, die annähernd mit den zwei zum Carpus und zum Radius feststehenden Achsen zusammenfallen (Fig. 102), und indem hier die zum Radius feststehende Achse der Dorsovolarbewegung mehr proximal gelegen ist als die zur ersten Handwurzelreihe feststehende Achse der Radioulnarbewegung.

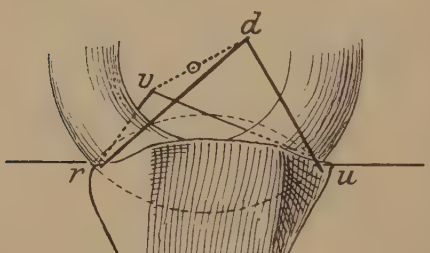


Fig. 102.

Man kann sich leicht aus irgend einem bildsamen Material, z. B. aus Kork, ein Modell eines solchen Hohltonnenflächen-Ringgelenkes herstellen und mit den vier Bändern versehen. Man muß nur dafür sorgen, daß die vier Befestigungspunkte so weit auseinanderliegen und der Ringkörper so kurz ist, daß die Bänder möglichst geradlinig verlaufen können.

Tatsächlich zeigen die antibrachiokarpalen Bänder des Handgelenkes eine gewisse Annäherung an diesen Typus der Bandanordnung. Es fehlen stärkere Seitenbänder am radialen und ulnaren Rand und auch dorsale und volare Längsbänder. Dafür sind Schrägbänder vertreten, welche am Vorderarm ulnar und radial entspringen und gegen die Mittellinie der dorsalen und volaren Breitseite der Hand hinziehen. Doch

lehrt genauere Untersuchung, daß die Übereinstimmung nur eine sehr unvollkommene ist. Solches ist auch nicht anders zu erwarten. Das Radiokarpalgelenk ist ja hinsichtlich seiner Gelenkflächen höchstens eine Art Zwischenform zwischen einem reinen Hohlringflächen-Spindel und einem Hohltonnenflächen-Ringgelenk. Auch ist zwischen die dorsovolare und die radioulnare Achse noch das Intrakarpalgelenk eingeschoben, so daß die dorsovolare Achse zum Carpus (zweite Handwurzelreihe) auch je nach der Stellung im Intrakarpalgelenk ganz verschieden gestellt sein kann. Dementsprechend setzen sich die schrägen Handgelenkbänder an der Dorsal- und Volarseite des Carpus durchaus nicht bloß an einem Punkte an, und können kürzere Bänder, welche nur zur ersten Handwurzelreihe gehen und die Achse der radioulnaren Krümmung der proximalen Gelenkfläche nicht erreichen, ebensogut fixierend wirken, wie die in einem Zuge zum Capitatum hinziehenden Faserzüge. Alle diese schrägen Bänder sind also naturgemäß nicht reine Fixationsbänder, welche bei den Bewegungen im Radiokarpalgelenk gleichmäßig gespannt bleiben, sondern sie haben mehr oder weniger die Bedeutung von Hemmungsbändern für diese Bewegungen.

Immerhin darf man glauben, daß die genannten schrägen Bänder mehr als alle anders verlaufenden auch in mittleren Stellungen einigermaßen gespannt und ungefaltet bleiben können und dabei doch die beiden Arten der Bewegung gestatten, und daß sie sich besser als die anderen bei der Annäherung an die Extremlagen nur allmählich und federnd stärker anspannen. Auch genügen im Maximum vier solcher schräger Zugsysteme, um sämtliche Hemmungen zu bewerkstelligen.

Auch zur Verhinderung der pronatorischen und supinatorischen Längsdrehung der Hand und der Abscherung gegenüber dem Radius und der Längsabreißung der Hand vom Vorderarm bei ungewöhnlich großen äußeren Krafteinwirkungen ist diese schräge Anordnung der Bänder selbst in mittleren Stellungen der Hand verhältnismäßig gut geeignet. Das Zustandekommen kleiner Längsrotationen der Hand im Radiokarpalgelenk in den Mittelstellungen kann allerdings durch diese Bänder nicht verunmöglicht sein. Für die Verhinderung derselben können nur die Muskelsehnen verantwortlich gemacht werden, welche als zahlreiche gespannte Stränge das Handgelenk der Länge nach einschienen. Indem sie die Gelenkflächen gegeneinander pressen und die Kontaktpunkte vermehren, vermögen sie auch die Längsrotation im Gelenk einzuschränken. Daß es an äußeren Einflüssen zur gewaltsamen Torsions- und Abscherungsbeanspruchung des Gelenkes nicht fehlt, braucht wohl kaum besonders hervorgehoben zu werden. Sie ergeben sich namentlich, wenn bei äußerer Feststellung der Hand der Arm ihr gegenüber zur Seite gedrängt oder gedreht wird. Auch zur Losreißung der Hand vom Arm können mächtige Einwirkungen zur Geltung kommen. Daß der Widerstand der Muskeln auch hierbei von der größten Bedeutung ist, und viel mehr als der zusammenhaltende Einfluß des Luftdruckes in Betracht kommt, ist wohl nicht zweifelhaft.

δ) Die gemeinsame Bewegung in beiden Handgelenken.

Vorbemerkung.

Wir können bereits an Bänderpräparaten ein Urteil über die gleichzeitig mit den Bewegungen im Intrakarpalgelenk im Radiokarpalgelenk stattfindende Bewegung gewinnen. Indem wir den Radius festhalten, können wir die zur Bewegung des Grundteiles der Hand wirkenden Kräfte so disponieren, daß sie ziemlich genau der im Leben durch die Muskeln auf die Hand ausgeübten Krafteinwirkung entsprechen. Es heften sich ja die vom Vorderarm zur Hand gehenden Muskeln im allgemeinen nicht an der ersten Reihe, sondern erst jenseits des Intrakarpalgelenkes an. Eine gewisse Einschränkung erfährt allerdings diese Behauptung durch folgende Umstände:

a) Ein Teil der Wirkung des Flexor carpi ulnaris überträgt sich durch das Erbsenbein auf die erste Handwurzelreihe. Solange das Erbsenbein noch am Dreieckbein gleitet, handelt es sich wesentlich nur um eine Einwirkung senkrecht zur Gleitfläche; nach Maßgabe wie die Gleitbewegung gehemmt ist, kommt auch eine Zugkomponente in der Richtung der Sehne in Betracht.

b) Der faktische Angriffspunkt für den M. flexor carpi radialis, oder wenigstens für einen Teil seiner Zugspannung ist die Stelle am Naviculare, wo er in den Kanal im radialen Ansatz des queren volaren Handwurzelbandes eintritt. Er hilft mit zur Querstellung des Naviculare.

c) Die in der volaren Handwurzelrinne verlaufenden Sehnen wirken in ähnlicher Weise auf die eine oder andere Stelle der umgebenden Kanalwand, sobald sie über dieselbe wie über eine Rolle laufen. Dies ist ebenfalls eine direkte Einwirkung auf die erste Handwurzelreihe.

Doch kann durch alle diese Umstände die Bewegung in den Handgelenken kaum erheblich modifiziert werden, im Vergleich zu dem Verhalten bei Beschränkung der Kraftangriffspunkte auf die jenseits der ersten Handwurzelreihe gelegenen Teile.

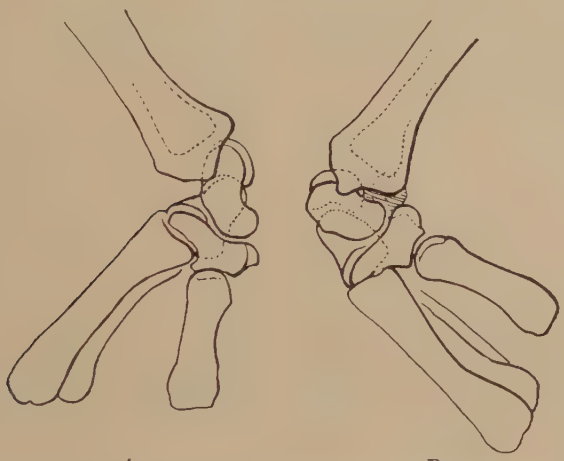
1. Die Dorsal-Volarbewegung im gemeinsamen Handgelenk.

Wir haben bereits bei der Besprechung der Dorsal- und Volarbewegung im Intrakarpalgelenk auf die Verhältnisse des Radiokarpalgelenkes Rücksicht nehmen müssen. Je nach der Stellung der Hand zum Vorderarm und der Art des Kraftschlusses befindet sich die erste Handwurzelreihe in anderer Form, sind die Möglichkeiten der Bewegung zwischen den einzelnen Elementen derselben und die entgegenstehenden Widerstände verschieden, und wird auch die Bewegungsmöglichkeit im Intrakarpalgelenk in besonderer Weise modifiziert. Von geringerem Einfluß ist die Formveränderung der ersten Reihe auf die Bewegung im Radiokarpalgelenk. Hier kommt wesentlich nur die verschiedene Lage der ersten Reihe zur Pfanne, nach derjenigen des Lunatum beurteilt, in Betracht und die verschiedene Anspannung der vornehmlich

um Lunatum und Triquetrum, und auch der volarerseits am Kopf des Capitatum sich ansetzenden stärkeren Bänder.

Wichtig scheint nur, worauf bereits früher hingewiesen wurde, daß selbst bei radialem Kraftschluß das Lunatum der besser fixierte Teil ist, das Naviculare aber eine gewisse Umstellungsmöglichkeit gegenüber dem Lunatum beibehält.

Obschon nun die bewegenden Kräfte beim Lebenden hauptsächlich zwischen Vorderarm und Grundteil der Hand wirken und auch die bewegenden äußeren Kräfte im allgemeinen nicht direkt an der ersten Reihe angreifen, wird diese doch im gleichen Sinn wie die zweite Reihe gegenüber dem Vorderarm mitbewegt und gedreht, nur in geringerem Betrage als die zweite Reihe und auch weniger als das Naviculare. Das



A *B*

Fig. 103. Dorsalvolarbewegung im Handgelenk, Ansicht von der Radialseite, etwas modifiziert. Nach R. Fick.

Naviculare wird ja von dem Grundteil der Hand in seiner Bewegung gegenüber dem Lunatum (und Triquetrum) mitgenommen, aber durchaus nicht vollkommen als ein mit dem Grundteil versteiftes Element, sondern vor allem an seinem distalen Endteil. Seine Drehung nach der Vola oder nach dem Dorsum gegenüber dem Lunatum ist geringer als diejenige des Grundteils und mit andersartiger Drehung und Progressivbewegung verknüpft; es erfährt also zugleich eine Umstellung gegenüber dem Grundteil. Und je nach der Stellung der Hand sind seine Umstellungen gegenüber dem Grundteil und gegenüber dem Lunatum verschieden. Gerade bei der Dorsalbewegung und Volarbewegung der Hand durch die Mittelstellung der Hand hindurch, wie sie von den Autoren bis jetzt fast einzig untersucht worden ist, kann allerdings die Umstellung des Naviculare schon am Bänderpräparat kaum übersehen werden. Sie ist schon von H. v. Meyer erkannt worden. Natürlich zeigt

sie sich am Röntgenbild besonders schön an gelungenen seitlichen Durch leuchtungen, wie sie z. B. R. Fick von Herrn Wüest in Aarau erhalte hat (s. Fig. 103). R. Fick hat denn auch in seinem Lehrbuch diese Umstellung des Naviculare bei der Dorsal-Volarbewegung ausdrücklic Rechnung getragen.

Je mehr nun aber die Widerstände gegen die Bewegung des Grund teiles der Hand und des Naviculare gegenüber dem Komplex Lunatum Triquetrum anwachsen, desto mehr muß auch dieser in die Bewegun des Grundteiles der Hand mit einbezogen werden. Der ganze Carpu wird mehr und mehr in sich versteift und kann nur noch als Ganze im Radiokarpalgelenk gedreht werden. Man darf sich nur nicht vor stellen, daß die Bewegung des Lunatum-Triquetrum erst beginnt, wen diejenige zwischen diesen Knochen und dem Grundteil der Hand z Ende ist. Die Bewegung des Naviculare im Radiokarpalgelenk ist natür lich das Resultat seiner Bewegungen gegenüber und mit dem Lunatum Was nun bei der Dorsal- und Volarbewegung und ebenso bei der Radial Ulnarbewegung im gemeinsamen Handgelenk besonders interessiert, is das genauere Verhältnis, in welchem sich die verschiedenen Gliederungs stellen an der Bewegung beteiligen. In dieser Beziehung muß nament lich die Radial- und Ulnarbewegung im gemeinsamen Handgelenk vo uns noch etwas genauer untersucht werden.

2. Die Radial-Ulnarbewegung im gemeinsamen Handgelenk

Ulnarbewegung. Wenn wir am Bänderpräparat von der Streck stellung aus durch Kräfte, welche in der Weise der über das Handgelen hinweggehenden Muskeln auf den Grundteil einwirken, Ulnarbewegun hervorrufen, so wird die Ulnarseite des Handgelenkes zusammenge schoben. Das Hamatum schließt enger auf das Triquetrum auf un gleitet an ihm radialwärts, eventuell zuletzt entlang der Randrinn und bis die proximale Sperrfacette auf die Sperrfacette des Lunatum auf stößt.

Während bei der Mittelstellung der Hand vor allem das Lunatu in breitem Kontakt dem ulnaren Teil der Radiusgelenkfläche aufruht nach dem radialen und dem ulnaren Rand des Gelenkes aber das Navi culare und das Triquetrum sich von der Pfanne allmählich abheben nähert sich bei weitergehender Ulnarablenkung das Triquetrum den Dreieckknorpel und erhält an demselben eine stützende und federnd Unterlage, das Naviculare aber wird vom Radialrand her fortschreiten vom Radius abgehoben. Zugleich gleitet in der Kontaktfläche die erst Handwurzelreihe unter Drehung radialwärts; bei starker Ulnarbeugun überschreitet der radiale Rand des Triquetrum den ulnaren Rand de Radius. Das Triquetrum wird dabei natürlich zum Vorderarm meh quer gestellt. Das Hamatum nähert sich der Ulna. Dazu kommt ein wenn auch unbedeutende Umstellung des Triquetrum gegenüber den Lunatum im Sinn einer Abflachung des von ihm und dem Lunatum ge bildeten Bogens resp. einer Zunahme der Querstellung gegenüber den proximodistalen Längsdurchmesser des Lunatum. Das Pisiforme mi

dem umgebenden Bandapparat wird gegen die Ulna geschoben und staut sich an ihr, während das Triquetrum an ihm proximal- und radialwärts gleitet. Der Haken des Hamatum schließt enger auf das Erbsenbein auf.

Der radiale Rand der Handwurzel, resp. der Abstand zwischen dem Processus styloides radii und den Multangula verlängert sich infolge des Drehgleitens der zweiten Handwurzelreihe an der ersten, wobei sich das Naviculare zugleich zum Lunatum mehr längs stellt, und infolge des Drehgleitens der ersten Reihe am Vorderarm und ihrer Abhebung vom Radius.

Radialbewegung. Ungefähr die gegenteiligen Erscheinungen zeigen sich bei der Radialabduktion. Zu dem schon früher geschilderten Verhalten im Intrakarpalgelenk kommt das Drehgleiten der ersten Reihe in der Pfanne des Vorderarms nach der ulnaren Seite, welches mit Rollung nach der Radialseite verbunden ist. Radialerseits wird die erste Reihe auf den Radius niedergedrückt; ulnarerseits hebt sie sich von der Pfanne (Dreieckknorpel) ab. Das Lunatum erreicht bei stärkster

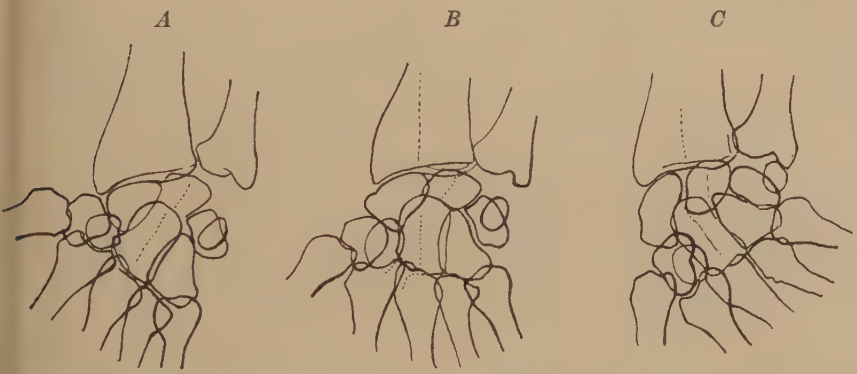


Fig. 104. Radialulnarbewegung im Handgelenk. Nach H. Virchow 1899.

Radialabduktion gerade den Rand des Dreieckknorpels. Die ulnare freie Seite der Handwurzel verlängert sich. Das Triquetrum gleitet am Pisiforme distalwärts, das Hamatum am Triquetrum ulnarwärts und distalwärts. Das Triquetrum stellt sich wieder mehr schräg (mit der Spitze ulnarwärts distalwärts) und seine Proximalverschiebung am Lunatum wird rückgängig gemacht. (H. Virchow nimmt seine Distalwärtsschiebung wenigstens für das Ende der Radialablenkung an.) Der freie radiale Rand des Carpus verkürzt sich durch den radialen Anschluß der ersten Reihe an die Pfanne und ihr Drehgleiten, ferner durch den engeren Anschluß der Multangula an das Naviculare und die Querstellung des letzteren. Es handelt sich dabei, wie schon hervorgehoben wurde, vor allem um eine Drehung des Naviculare gegenüber dem Lunatum nach der Vola hin, die in der Ansicht von der Radialseite her deutlich ist (Zunahme der Querstellung sowohl gegenüber dem Vorderarm als gegenüber dem Lunatum und dem Grundteil der Hand).

Der klaffende dorsale Winkel zwischen dem Naviculare und den Mult- angula schließt sich. Außerdem stellt sich auch in der Ansicht von Dorsum oder der Vola her das Naviculare mehr quer, nicht bloß zum Radius, sondern auch zum Lunatum, indem der vom radialen Teil der ersten Reihe (Lunatum und Naviculare) gebildete Bogen abgeflacht wird. Auch schiebt sich das Naviculare am Lunatum etwas proximal- und dorsalwärts.

Die bis jetzt beschriebene Formveränderung und Verschiebung der ersten Handwurzelreihe ist leicht zu konstatieren und zu erklären. Außerdem zeigt sich aber eine im ersten Augenblick recht rätselhafte Erscheinung. Wir sehen nämlich, daß bei der Radialbewegung des Grundteiles der Hand in der Hauptebene des Radius die erste Reihe, und zwar vor

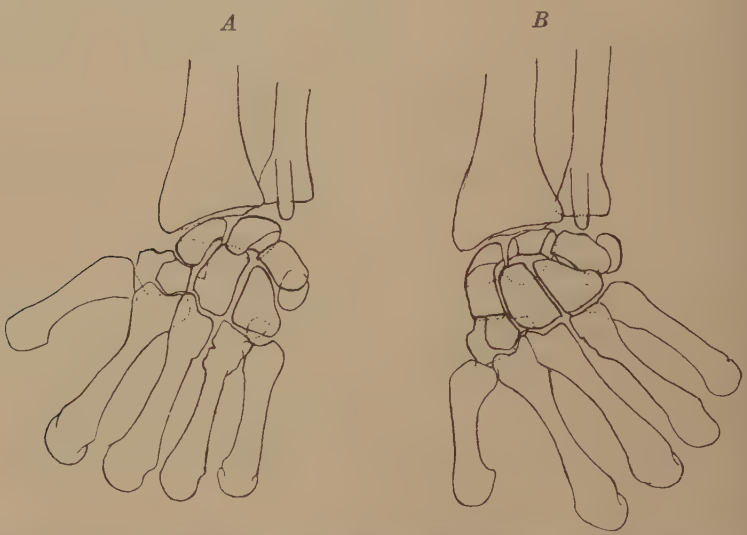


Fig. 105. Das Handgelenk in extremer Radial- und Ulnarablenkung. Nach R. Fick Lehrb. III.

nehmlich der proximale Teil des Naviculare und das Lunatum am Dorsum stärker vortreten, also eine Bewegung ausführen, welche einem Dorsalwärtsgleiten sowohl gegenüber dem Radius als gegenüber dem Grundteil der Hand entspricht. Dem Radius gegenüber handelt es sich um eine Volarflexion (wenn der Grundteil der Hand mit dem Naviculare oder Lunatum versteift wäre, würde er volarwärts abgelenkt werden). Insofern aber die betreffende Nebenbewegung gegenüber der zweiten Reihe stattfindet, handelt es sich um eine Dorsalbewegung des Grundteils im Intrakarpalgelenk. Dies ist ganz richtig von R. Fick und H. Virchow, aber viel früher auch schon von H. v. Meyer erkannt worden. Nur vertreten die Autoren die Annahme, daß sich bei dieser Bewegung die ganze erste Handwurzelreihe (vom Pisiforme abgesehen

als ein starres Ganzes verhalte. Hierin können wir ihnen nicht beipflichten.

Das proximale Ende des Naviculare tritt ganz besonders deutlich nach dem Dorsum vor, wenn bei der Radialbewegung des Grundteils das Trapezbein nicht dem Processus styloides radii, sondern einem mehr dorsal gelegenen Punkte des Radiusendes am meisten genähert, also mehr in der Längsrichtung des Naviculare bewegt wird, oder mit anderen Worten, wenn es sich wirklich um eine reine Radialabduktion oder um eine mit etwas Dorsalbewegung verbundene Radialbewegung handelt. In diesem Fall ist auch die dorsovolare Zeigerdrehung des Naviculare weniger ausgesprochen. Die Erklärung der Erscheinung scheint mir darin zu liegen, daß in diesem Fall das Kraftmoment zur genannten Drehung des Naviculare ein kleineres ist. Um so größer muß der Schub in der Längsrichtung des Naviculare und die Ablenkung nach der radialen Seite hin sein. Das proximale ulnare Ende des Naviculare muß stärker dorsalwärts ausweichen und dabei auch eine verschiebende Wirkung auf das Lunatum, ja eventuell durch dieses auch noch auf das Triquetrum ausüben. Doch überträgt sich diese Einwirkung von Element zu Element nicht ohne vorangehende Umstellung. Das Lunatum folgt nur unvollkommen der Drehung des Naviculare um seinen distalen Stemmpunkt, das Naviculare muß sich an ihm dorsalwärts verschieben, während es sich zugleich für die Betrachtung von der Dorsalseite und Radialseite mehr quer stellt.

Die Tatsache, daß gegenüber dem dorsalwärts ausweichenden proximalen Teil des Naviculare das Lunatum zurückbleibt, das Triquetrum noch weniger beeinflußt wird, könnte allenfalls, bei oberflächlicher Betrachtung als Ausdruck einer supinatorischen Drehung des Komplexes Lunatum-Triquetrum angesehen werden. Nach der Auffassung von R. Fick verbindet sich aber bei der Radialabduktion der Hand im Gegenteil mit dem Ulnarwärts- und Dorsalwärtsgleiten der ersten Reihe eine pronatorische Drehung derselben, wie aus Röntgenbildern hervorgehen soll (pronatorische Drehung des Lunatum) und aus der Beobachtung, die R. Fick am Lebenden gemacht haben will, daß das Triquetrum bei der Radialabduktion der Hand deutlich dorsalwärts trete. Ich habe mich von der Richtigkeit dieses Befundes nicht sicher überzeugen können und möchte bis auf weiteres annehmen, daß jedenfalls das Lunatum mehr als das Triquetrum dorsalwärts rückt. Berücksichtigt man nur die Endpunkte der ersten Reihe am Triquetrum und Naviculare, dann freilich scheint diese Reihe eine pronatorische Drehung bei der Radialabduktion der Hand auszuführen.

Meiner Meinung nach handelt es sich also um ein ungleichmäßiges, mit Formveränderung verbundenes Ausweichen der ersten Reihe zwischen der zweiten Reihe und der Pfanne des Vorderarmes nach der Dorsalseite infolge des in der Längsrichtung des Naviculare wirkenden Schubes. Am meisten weicht nach der Dorsalseite hin aus das proximale Ende des Naviculare, weniger das Lunatum und noch weniger das Triquetrum. Dieses Ausweichen ist mit Drehung im Sinn der Volarflexion verbunden, welche aber durchaus nicht der vollen Drehung des Naviculare entspricht, indem dieses ja an der Seite des Lunatum eine Drehung ausführen kann, ohne selbst bei radialem Gelenkschluß durch die Pfanne daran gehindert zu sein.

Diese Vorstellung von einem Ausweichen der ersten Reihe ist ein-

facher, als wenn man von einer Volarflexion der ersten Reihe gegenüber dem Vorderarm und einer korrigierenden Dorsalflexion des Grundteils gegenüber der ersten Reihe spricht, und stimmt besser mit den tatsächlichen Verhältnissen; auch ist dabei dem ursächlichen Zusammenhang besser Rechnung getragen.

An der Ulnarseite machen sich bei der Ulnarabduktion ebenfalls Kräfte geltend, welche zu einer besonderen Verschiebung der ersten Reihe gegenüber der zweiten und dem Vorderarm und zu etwelcher Formveränderung derselben führen können. Wir haben schon zu wiederholten Malen auf die schraubengangartige Randrinne und Randleiste an der proximalen Gelenkfläche des Hamatum aufmerksam gemacht. Sie windet sich um den proximalen Rand des Hamatum ulnarerseits herum von dem Dorsum nach der Vola und verläuft dabei zugleich distalwärts. Dieser Randteil schließt sich bei der Ulnarstellung der Hand eng an die ulnare Ecke des Triquetrum. R. Fick und H. Virchow nehmen an, daß hier bei der Ulnarbeugung bei stärkerem Andrängen des Hamatum gegen die Ulna ein Vergleiten stattfindet, wobei das Hamatum gegenüber dem Triquetrum dorsalwärts und proximalwärts, das Triquetrum gegenüber dem Hamatum volarwärts und distalwärts bewegt wird. Nähert sich das Hamatum genau in der Hauptebene der Hand der Mitte des Ulnaköpfchens, so muß es natürlich das Triquetrum sein, welches ausweicht, und zwar nach der Volarseite; dabei gleitet es auch am Dreieckknorpel volarwärts und dreht sich gegenüber dem Vorderarm im Sinn einer Dorsalbeugung (wäre die Hand starr mit ihm verbunden, müßte sie dorsalwärts abgelenkt werden), die Drehung zwischen Triquetrum und Hamatum aber entspricht einer Volarbeugung des Grundteils.

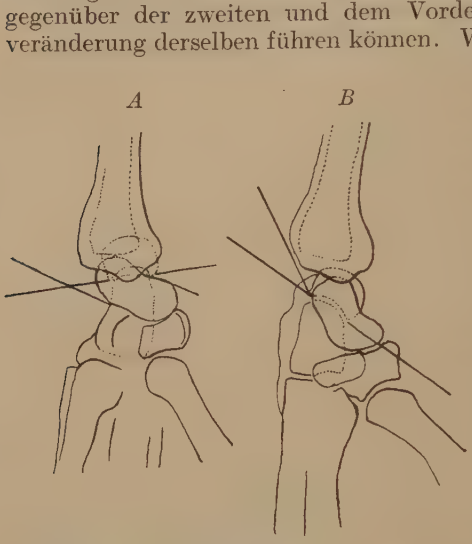


Fig. 106. Die Stellung des Naviculare und des Lunatum. *A* in Radial-, *B* in Ulnarbeugung. Nach R. Fick. Die geraden Linien, welche die Stellung der genannten Knochen markieren, sind von uns hinzugefügt.

Nach meinen eigenen Beobachtungen kann ein solches Ausweichen des Triquetrum zwischen Vorderarm und Hamatum in der Tat unter Umständen stattfinden. Es macht mir den Eindruck, als ob dann mindestens ebenso sehr die Schrägstellung des Dreieckknorpels, dessen proximale Fläche volarwärts schaut, als die Schrägstellung der Hamatumrinne daran schuld ist. Das Ausweichen erscheint als ein Umkippen, das durch bewirkt, daß der Widerstand des Vorderarms gegen mehr volar gelegene, der Druck vom Hamatum her gegen weiter dorsal gelegene Teile

virkt. Indem zugleich auch das Lunatum durch das proximale Ende des Naviculare volarwärts geführt wird, vollführt nun der ganze Komplex Triquetrum-Lunatum annähernd einheitlich die Ausweichebewegung nach der Volarseite. In anderen Fällen aber unterbleibt an der ulnaren Seite das Ausschlüpfen des Triquetrum nach der Volarseite, und zwar gerade dann, wenn das Hamatum genau gegen die Mitte der Ulna in der Hauptebene der Hand und des Vorderarms andrängt. Es wirkt dann offenbar nur radialerseits vom proximoulnaren Ende des Naviculare her eine Kraft zur Volarführung des Lunatum. Letzteres wird vom Naviculare, das Triquetrum aber wird in noch unvollkommenerer Weise radialerseits vom Lunatum mitgenommen.

Für die reine Ulnarbewegung nahm H. v. Meyer (Statik und Mechanik, 1873) eine Drehung der ersten Reihe um eine radioulnare Achse des Radiokarpalgelenkes an, welche durch eine gegenteilige Drehung im Intrakarpalgelenk kompensiert werde; und zwar handelt es sich nach ihm um eine Dorsalflexion im ersten Gelenk (Drehgleiten der ersten Reihe volarwärts) und um eine Volarflexion im zweiten Gelenk, also um das Entgegengesetzte wie bei der reinen Radialabduktion. R. Fick und im wesentlichen auch H. Virchow haben sich dieser Lehre angeschlossen. Sie haben wohl die größere Querstellung des Naviculare bei der Radialabduktion und seinen mehr längs gerichteten Verlauf bei der Ulnarabduktion beachtet, aber sie lassen die ganze erste Handwurzelreihe als ein starres Ganzes an dieser Drehung teilnehmen. Ich bestreite ebenso gut für die Ulnarbeugung wie für die Radialabduktion die Richtigkeit dieser Lehre. Die Längsumstellung des Naviculare ist bei der Ulnarbeugung stets deutlich ausgeprägt, während das Drehgleiten des Lunatum, ja selbst dasjenige des Triquetrum fehlen kann und auf keinen Fall dem Betrag der Drehung des Naviculare entspricht. Das Naviculare dreht sich eben gegenüber dem Lunatum. Die erste Reihe erleidet eine Formveränderung. Am einfachsten ist es, auch hier von einem Hinausgedrängtwerden der ersten Reihe und namentlich des Triquetrum nach der Volarseite zu sprechen und sich die Bedingungen klar zu machen, unter welchen dies geschieht.

3. Henkes Lehre von den Bewegungen im Handgelenk.

Jeder, der sich ernsthaft Mühe gibt, die Henkesche Analyse der Bewegungen des Handgelenkes (1863) zu verstehen, muß zugeben, daß seine Darstellungsweise sehr schwer verständlich ist, in Wort und Bild. Kein Wunder, daß seine Ausführungen meist keine vollkommen richtige Kritik und Würdigung erfahren haben. Der Kernpunkt der Henkeschen Lehre besteht darin, daß nach ihm nur je eine bestimmte typische Hin- und Herbewegung in jedem der beiden Handgelenke möglich ist. Durch verschiedene Kombination zwischen je 2 der 4 im ganzen möglichen Bewegungen sollen dann alle überhaupt möglichen Bewegungen des Grundteils der Hand gegenüber dem Radius zustande kommen.

Nach Henke findet die Bewegung im ersten Gelenk für sich allein, ohne wesentliche Bewegung im zweiten Gelenk dann statt, wenn die Hand (Grundteil) aus stärkster Dorsalstellung in stärkste Radialstellung oder aus stärkster Ulnarstellung in stärkste Volarstellung gegenüber dem Radius übergeführt wird. Eingetriebene Stifte beweisen, daß sich dabei der Grundteil und das Naviculare in gleicher Weise drehen, parallel einer Längsebene der Hand, welche volarwärts nach der radialen Seite abweicht, um eine annähernd quere Achse, die von der radialen nach der ulnaren Seite und zugleich etwas volarwärts verläuft. Die Achse stehe fest zum Radius. Genauer bestimmt wird sie von Henke durch einen Punkt am Radius und einen Punkt der ersten Handwurzelreihe; sie geht durch die Spitze des Processus styloides radii, dicht volar von der Sehnenscheide des Extensor carpi rad. lg. vorbei und tritt ulnarerseits durch das Erbsenbein heraus (Fig. 107 I). Der vom Naviculare bestimmten Bewegung folgen nun das Triquetrum und namentlich das Lunatum nicht ganz, doch drehen sie sich um die gleiche Achse. Die Firsten der Pfanne sollen den proximalen Grenzfurchen zwischen den Elementen der ersten Reihe gegenüber bleiben. Eine Bewegung über die Firsten weg finde nicht statt. Das Triquetrum hebe sich bei starker Volarbeugung vom Dreieckknorpel ab. Weil das Lunatum in der Bewegung zurückbleibt, müssen sich das Naviculare und der Grundteil der Hand gegenüber dem Lunatum drehen. In der Fuge zwischen Lunatum und Naviculare bleibt der Kontakt erhalten, da sie zur Drehungsachse senkrecht steht. Nicht völlig gewahrt bleibt der breite Kontakt zwischen dem Kopfbein und dem Mondbein. Die Sperrflächen des Lunatum und des Hamatum entfernen sich etwas von einander bei der Volarbeugung, wobei das Hamatum am Triquetrum ulnarwärts bewegt wird. Das Triquetrum folgt besser dem Grundteil der Hand als das Lunatum, doch hebt sich das Hamatum bei der Volarbeugung vom Triquetrum ab, wie dieses sich vom Dreieckknorpel abhebt.

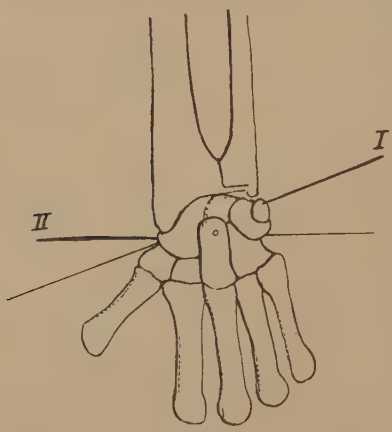


Fig. 107. Die Henkeschen Achsen.

Die Bewegung im zweiten Handwurzelgelenk findet möglichst rein für sich, ohne wesentliche Mitbewegung im ersten Gelenk statt, wenn die Hand aus voller Dorsalflexion in volle Ulnarflexion, oder aus voller Radialflexion in volle Volarflexion übergeführt wird und umgekehrt. Das Mondbein bleibt dann völlig unbewegt am Radius. Das Naviculare dagegen folgt teilweise der Bewegung des Grundteils und erfährt, soweit dies geschieht, eine Umstellung gegenüber dem Lunatum und dem Radius. Andererseits muß, soweit das Naviculare die Bewegung des Grundteiles nicht mitmacht, eine Drehung zwischen ihm und dem Grundteil stattfinden. (Die Darlegung dieser Verhältnisse ist bei Henke recht unbeholfen und schwer verständlich, S. 175 u. 176.) Drehung Grundteil/Naviculare + Drehung Naviculare/Lunatum = Drehung Grundteil/Lunatum. Die zweite dieser drei Drehungen ist gering im Vergleich zur ersten. Die Verbindung zwischen dem Naviculare und dem Grundteil ist nach Henke ein richtiges Scharniergelenk. Die Multangula gleiten unter Drehung an der Spitze des Naviculare vorbei. Die Achse der Drehung geht durch die Spitze des Naviculare und die Dorsalseite des Triquetrum radioulnarwärts und deutlich dorsalwärts. (H. Virchow hat mit vollem Recht darauf hingewiesen, daß es sich nicht um ein Scharniergelenk handeln kann. Er bezeichnet die Verbindung als ein „gekoppeltes Doppelellipsoid“. Wir haben oben (siehe S. 222) genauer die Möglichkeiten der Bewegung zwischen Naviculare und Grundteil erläutert und gezeigt, daß sich eine Drehung um eine Achse, welche durch das Lig. navi-lunatum dorsale und das Lig. navi-trapezium

arginale geht, mit einem Wandern dieser Achse kombiniert, indem das proximale nde des Naviculare um die proximal radialdorsal gelegene Wölbung des Kopfbein- pfes herumschleift.

Die Achse der Drehung zwischen Lunatum und Naviculare steht nach Henke t rein quer; es schraube sich aber das Naviculare bei der Volarbeugung ulnar- arts, bei der Dorsalbeugung radialwärts; durch letzteres werde das Lig. carpi ansversum angespannt. Die resultierende Drehung des Grundteiles der and geht nach Henke durch den Mittelpunkt des Kopfbeinkopfes und den ulnaren and des gewölbten Teils der proximalen Gelenkfläche des Hamatum, weicht also m radioulnaren Verlauf weniger stark dorsalwärts ab, als die von Henke für die wegung Naviculare-Grundteil postulierte Achse (aber dafür wohl stärker proximal- irts). Diese Achse für die Bewegung Grundteil-Lunatum muß als zweite hiefe Achse des Handgelenkes im Sinne Henkes betrachtet werden. Der ontakt des Hamatum mit dem Triquetrum ist übrigens nach Henke ein sehr nig genauer und ausgedehnter.

Dieses sind die wesentlichen Grundlagen der Henkeschen Lehre, mit der ir uns nun endgültig abzufinden haben.

Man mag zugeben, daß in jedem der beiden Gelenke eine Bewegung n ganzen so, wie Henke sie schildert, vor sich gehen kann. Henke at aber den großen Fehler begangen, diese Bewegungen für die einzig öglichen zu halten, als ob sie in zwangmäßiger Führung um feste chsen vor sich gingen, während die Beobachtung mit aller Sicherheit hrt, daß in jedem der beiden Gelenke von mittleren Stellungen aus rehbewegung um verschiedene Achsen möglich ist. Für das Intra- rpalgelenk haben wir dies ausführlich nachgewiesen. Aber auch für s Radiokarpalgelenk zeigen das Bänderpräparat und das Röntgenbild fs deutlichste, daß neben der Bewegung parallel den sog. Führungs- isten auch eine Radial- resp. Ulnarbewegung, wenn auch in individuell echselndem Umfang möglich ist.

Henke glaubte ferner auf die zwei von ihm aufgestellten typi- hen Bewegungen in den beiden Handgelenken sämtliche vorkommen- n Bewegungen des Grundteils, auch die sog. geraden Bewegungen rückführen zu können.

Was die gerade Dorsalvolarbewegung betrifft, so entsteht sie nach m durch Kombination der schrägen Dorsal- resp. Volarbewegung beider elenke, indem die damit verbundenen Randbewegungen entgegen- setzt gerichtet sind und sich gegenseitig aufheben. Dagegen ist nicht iel einzuwenden. Eine reine Radialbewegung aber soll zustande kommen urch gleichzeitige schräge Volarbewegung im ersten und schräge orsalbewegung im zweiten Gelenk. Die reine Dorsalbewegung des rundteils wegen der Bewegung im zweiten Gelenk annulliert die it der Bewegung des ersten Gelenkes verbundene reine Volarbewe- ung. Die Radialablenkungen summieren sich. Die umgekehrte ombination bewirke reine Ulnarbewegung. Solches wäre wohl denk- ar, wenn die Bewegungen in beiden Gelenken im Henkeschen Sinn in zwangmäßig unter sicherer Führung vor sich gingen. Dann önnten sich im einen Fall die radialen, im anderen die ulnaren Muskeln nsichtlich des Einflusses zur geraden Dorsal- resp. Volardrehung leichgewicht halten, die Komponenten zur Radial- rsp. Ulnarbewegung er, obschon sie viel kleiner sind, könnten eventuell allein zur Geltung ommen. Aber auch dann könnte niemals die Radial- oder Ulnar-

ablenkung so groß werden, wie sie in Wirklichkeit möglich ist. Die Abweichungen der Henkeschen Achsen aus der Hauptebene der Hand nach der volaren resp. dorsalen Seite des Ulnarrandes sind tatsächlich ganz unbedeutend. Henke berücksichtigt ja die mögliche Radial- resp. Ulnardrehung der ersten Reihe im Radiokarpalgelenk gar nicht und die im Intrakarpalgelenk mögliche Radial- rsep. Ulnarbewegung nur zum kleinen Teil.

Die Henkeschen Achsen konvergieren in der Ansicht von der volaren oder dorsalen Seite her deutlich nach dem Ulnarrand hin. Die erste Achse tritt auf der ulnaren Seite distalwärts, die zweite proximalwärts aus der Querebene der Hand heraus. Demnach müßte mit der schiefen Volarbewegung im ersten Gelenk etwas pronatorische, mit der Volarbewegung im zweiten Gelenk müßte etwas supinatorische Drehung verbunden sein. Diese Einflüsse würden sich vielleicht bei gleichsinniger Dorsal- resp. Volarbewegung in beiden Gelenken aufheben. Bei resultierender Radialbewegung des Grundteils müßten sich dagegen die pronatorischen, bei reiner Ulnarbewegung müßten sich die supinatorischen Einflüsse summieren. Henke hat diese Konsequenzen seiner Lehre gänzlich außer acht gelassen.

Die Henkesche Lehre von je einer einzigen um eine feste schiefe Achse stattfindenden Bewegung in jedem der beiden Handgelenke muß also aufgegeben werden. Gerade zur Erklärung der Randbewegungen der Hand ist sie völlig ungenügend. Deshalb muß auch der Versuch von R. Fick, die Henkesche Lehre wenigstens für die Randbewegungen der Hand zu retten, als mißglückt gelten.

Nach R. Fick führt die erste Reihe im Antibrachiokarpalgelenk als vollkommen starres Ganzes folgende drei Bewegungen aus:

Bei der Radialabduktion: 1. eine seitliche Bewegung in radioulnarer Richtung entlang der Pfanne, 2. eine Volarflexion, 3. eine Pronation.

Bei der Ulnarabduktion: drei entgegengesetzte Bewegungen. Die Achsen dieser drei Drehungen stehen senkrecht zueinander und schneiden sich ungefähr im Mittelpunkt des Kopfbeins. Die drei Drehungen ergeben zusammen eine resultierende Drehung um eine Achse, welche schräg zur Querebene und zur Hauptebene der Hand von der volaren, ulnaren und distalen Seite zur dorsalen, radialen und proximalen Seite geht.

Die zweite Reihe zeigt folgende drei Drehungen:

Bei der Radialabduktion eine seitliche Bewegung in ulnoradialer Richtung, eine Dorsalflexion und eine Supination, also eine resultierende Drehung um eine Achse, welche schräg von der volaren, radialen und proximalen Seite zur dorsalen, ulnaren und distalen Seite geht usw.

Diese schrägen Achsen entsprechen nun aber, worauf schon H. Virchow hingewiesen hat, gar nicht den beiden schiefen festen Achsen von Henke. Sie verlaufen in beiden Gelenken mehr dorsovolar; es ist also in Abweichung von Henke anerkannt, daß in jedem der beiden Gelenke und namentlich im ersten Gelenk bei der Randbewegung der Hand die Bewegung in anderer Weise, mehr im Sinn der Radial- und Ulnardrehung erfolgt als bei der Mitwirkung zur Dorsal- und Volarbewegung der Hand. Fick weicht ferner gerade darin von Henke ab, daß er bei den Randbewegungen der Hand die erste Reihe als starres Ganzes sich bewegen läßt, während nach Henke die Bewegungen im ersten und im zweiten Handgelenk beide mit einer Umstellung des Naviculare gegenüber dem Lunatum verbunden sind, die allerdings entgegengesetzten Sinn hat, sich aber kaum vollständig ausgleicht, indem die Umstellung bei der Bewegung im zweiten Gelenk erheblich größer ist. Die Lehre von R. Fick, für sich allein genommen, fällt mit dem Nachweis, daß sich die erste Reihe bei den Randbewegungen nicht als starres Ganzes dreht. Ich verweise in dieser Beziehung auf meine früheren Auseinandersetzungen.

4. Der Umfang der Bewegungen im Handgelenk und seinen Unterabteilungen.

a) Dorsal-Volarbewegung.

Allgemein wird betont, daß der Bewegungsumfang individuell erheblich variiert. Besonders groß scheint er beim Weib zu sein (R. Fick) und wohl überhaupt bei zarter gebauten Körpern. Verschieden ist auch das Verhältnis der Beteiligung der einzelnen Gelenke. Oft zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen der rechten und linken Hand. Gebrauch und Übung haben offenbar bestimmenden Einfluß.

Die meisten Untersucher haben erkannt, daß die Volarbeugung der Hand von der Streckstellung aus zum größeren Teil im Antibrachiokarpalgelenk, zum kleineren Teil im Intrakarpalgelenk geschieht, während bei der Dorsalbeugung aus der Streckstellung das Intrakarpalgelenk zu erheblich größerem Maße beteiligt ist als das Antibrachiokarpalgelenk. Die Ulnarflexion kommt nach Braude u. a. wesentlich im Radiokarpalgelenk, die Radialflexion wesentlich im Intrakarpalgelenk zustande.

	Aus der Streckstellung heraus ist möglich im						
	Antibrachiokarpalgelenk			Intrakarpalgelenk			Gesamtbewegung
	Volarflexion	Dorsalflexion	Total	Volarflexion	Dorsalflexion	Total	
Nach Braude (zit. von Leßhaft) .	52°	16°	68°	26,5°	48°	74,5°	142,5°
Nach Braune-Fischer	60	25	85	24	60	84	169
Nach R. Fick . .	45–50 ♀	35 ♀	80—85	30—35 ♀	50 ♀	80—85	160 170

Die gesamte Volarexkursion ist beispielsweise nach Braune-Fischer 84°, nach Braude 78,5° (67—105° nach Leßhaft), die gesamte Dorsalexkursion ist 85° nach Braune-Fischer, 64° nach Braude (44—85° nach Leßhaft).

Nach R. Fick betrug in einem bestimmten Fall:	gegen den Vorderarm	gegen das Lunatum	gegen das Kahnbein
die Dorsalflexion der I. Reihe (Lunatum)	26°	—	—
des Kahnbeins . . .	57°	31°	—
der II. Reihe	80°	54°	23°
die Volarflexion der I. Reihe	51°	—	—
des Kahnbeins . . .	68°	17°	—
der II. Reihe	82°	31°	14°
die gesamte Dorsovolarexkursion der I. Reihe	77°	—	—
des Kahnbeins . . .	125°	48° (45)	—
der II. Reihe	162°	85° (82,5)	37° (37,5)

b) Radial-Ulnarbewegung.

	Aus der Streckstellung heraus ist möglich im						
	ersten Gelenk			zweiten Gelenk			Gesamtbewegung
	Radialflexion	Ulnarflexion	Total	Radialflexion	Ulnarflexion	Total	
nach Braude. . .	8°	24,5°	32,5°	11,5°	6°	17,5°	49,5°
„ R. Fick . .	5°	15°	20°	10°	25°	35°	55°

Radialflexion in beiden Gelenken nach Leßhaft 15—26°, Ulnarflexion 24—53° (Gesamtexkursion 40—80°).

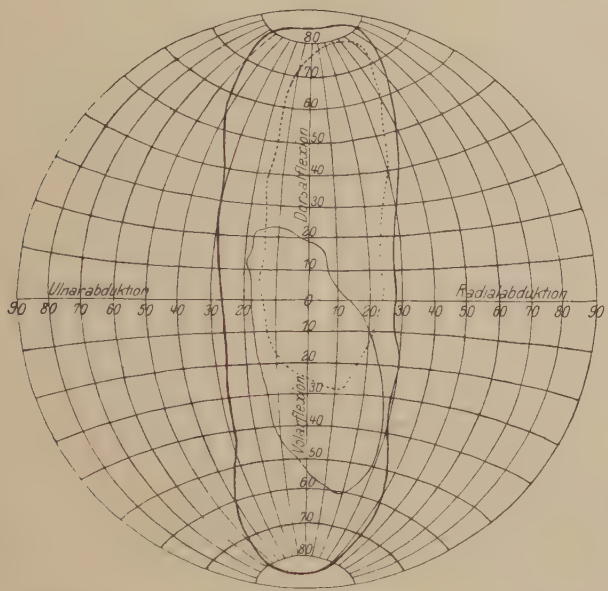
Nach O. Fischers Messungen an zwei Leichen beträgt die maximale Radial-Ulnarbewegung im Radiokarpalgelenk in volar abgelenkter Stellung der Hand ca. 40°, in der Mittelstellung des gemeinsamen Handgelenkes etwas weniger; im Interkarpalgelenk aber beträgt die Radial-Ulnarexkursion in etwas dorsaler Stellung ebenfalls ca. 40°, die Gesamtexkursion in beiden Gelenken ist im Maximum ca. 60°. (Die verschiedene Lage der Mittelstellungen der beiden Gelenke bewirkt, daß bis zu erheblicher Dorsal- und Volarbeugung die gesamte Radialulnarexkursion sich annähernd im gleichen Betrag hält.)

Um den Umfang der Bewegungen im Handgelenk zu taxieren, muß man den Radius vollkommen feststellen. Bei der Untersuchung am Lebenden benutzt man zur Beurteilung und Messung der Stellungsänderungen der Hand (ihres starren Grundteiles) das dorsale Längsprofil vom Ende des Capitatum bis zum Köpfchen des III. Metacarpale.

Beobachtungen über den Umfang der maximalen Dorsal-Volar- und Radial-Ulnarexkursion können an zahlreichen Individuen mit genügender Genauigkeit ausgeführt werden, um zu konstatieren, 1. daß die Dorsalvolarextension mehr als das Doppelte der Radialulnarextension beträgt, mindestens im Mittel 130—150°, 2. daß die Dorsalbeugung von der absoluten Streckstellung aus in der Regel ungefähr in gleichem Umfang möglich ist wie die Volarbeugung, die Ulnarbeugung aber in etwas größerem Umfang als die Radialbeugung, 3. daß aber individuelle Verschiedenheiten vorkommen.

Als absolute Streckstellung ist dabei jene Stellung bezeichnet, in welcher die Längsachse des III. Metacarpale der Mittellinie des Vorderarmes bei parallel gestellten Vorderarmknochen (gerade Verbindungslinie der Mitte der Handgelenkgegend mit der Mitte zwischen beiden Humerus-Epikondylen) parallel läuft, resp. mit ihr zusammenfällt. Die absolute Streckstellung entspricht also nicht genau der Mittelstellung im gemeinsamen Handgelenk; diese ist vielmehr in der Regel gegeben, wenn die Mittellinie des III. Metacarpale um 5—15° ulnarwärts abgelenkt und etwa der Pronations-Supinationsachse des Vorderarmes parallel gestellt ist. Aus den anatomischen Verhältnissen des Bänderpräparates aber läßt sich ersehen, daß diese Mittelstellung durchaus nicht den Mittelstellungen der beiden Einzelgelenke entspricht. Diejenige

es Radiokarpalgelenkes ist gegeben, wenn die Hauptprofile und die litten der beiden Gelenkflächen zusammenfallen. Die auf der Kreuungsstelle der beiden Hauptprofile der Pfanne senkrecht stehende Gede verläuft im Radius proximalwärts, deutlich radialwärts und etwas orsalwärts (Hauptlinie des Radius für das Radiokarpalgelenk). Die uf der Kreuzungsstelle der Hauptprofile des Gelenkkopfes senkrecht tehende Gerade aber geht, wenn die Hand bei Mittelstellung m Intrakarpalgelenk versteift ist (als Hauptlinie der Hand mit ezug auf das Radiokarpalgelenk), etwas radialwärts vom Köpfchen



ig. 108. Exkursionen im Handgelenk nach Braune-Fischer. Die Zeichnung es Gradnetzes ist von uns etwas modifiziert. Die fein ausgezogene Linie gibt ie Grenzlagen des Schnittpunktes der Mittellinie des Grundteils mit der Exkurionskugelfläche, bei Bewegung bloß im Radiokarpalgelenk. Die punktierte Linie bt die Grenzbewegung des gleichen Schnittpunktes bei festgestelltem Lunatum nd Bewegung bloß im Intrakarpalgelenk unter Mitbewegung der übrigen Knochen er ersten Reihe. Die dick ausgezogene Kurve gibt die Grenzbewegung des chnittpunktes bei Freiheit der Bewegung in beiden Gelenken und normaler Freiheit der Bewegung der Knochen der ersten Reihe gegeneinander.

es III. Metacarpale vorbei. Die in der Streckstellung versteifte Hand uß also deutlich volarwärts abgelenkt und auch etwas ulnarwärts begt werden, damit die Mittelstellung im Radiokarpalgelenk erreicht ird. Andererseits entspricht die absolute Streckstellung auch nicht anz genau der Mittelstellung im Intrakarpalgelenk. Vielmehr t die Hauptlinie der von der ersten Handwurzelreihe für den Kopf des apitatum gebildeten Pfanne in der absoluten Streckstellung proximal-

wärts, etwas radialwärts und volarwärts gerichtet. Der Grundteil der Hand muß aus seiner Stellung bei absoluter Streckung der ganzen Hand dorsalwärts und ebenfalls etwas ulnarwärts abgelenkt werden, damit die Mittelstellung in diesem Gelenk erreicht wird.

Es bestätigt sich also die oben erwähnte Angabe der Autoren, daß die Volarbeugung aus der absoluten Streckstellung wesentlich im Radiokarpalgelenk, die Dorsalbeugung aber zum größeren Teil im Intrakarpalgelenk zustande kommt, die Ulnarbeugung aber in beiden Gelenken aus der Streckstellung heraus in größerem Umfang möglich ist als die Radialbeugung.

Konstruiert man sich eine Exkursionskugel um das gemeinsame Handgelenk mit zum Radius fester, zu seiner Hauptebene dorsovolar gestellter Polachse, so fällt in der absoluten Streckstellung das Köpfchen des III. Metacarpale (als Exkursionspunkt) in den Äquator. Würde nun das Intrakarpalgelenk festgestellt und das Exkursionsgebiet des III. Metakarpalköpfchens für das Radiokarpalgelenk bestimmt, so müßte dasselbe mit seiner Mitte volar und ulnar von der Stelle gelegen sein, welche das Köpfchen in der Streckstellung einnimmt; versteift man aber in der Streckstellung das Radiokarpalgelenk und läßt das Intrakarpalgelenk frei, so bekommt man für letzteres natürlich ein Exkursionsgebiet, dessen Mitte ulnar und dorsal von dem Ort des III. Metakarpalköpfchens in der Streckstellung gelegen ist.

Eine solche Bestimmung ist nun in sorgfältiger Weise von O. Fischer gemacht worden. Durch die Feststellung der Extremlagen in beiden Gelenken werden die oben stehenden Angaben über die Exkursionsmöglichkeiten, welche sich im wesentlichen nur auf die sog. geraden Bewegungen der Hand durch die Mittelstellung hindurch beziehen, in vollkommener Weise ergänzt. Wir geben das Hauptresultat in vorstehender Figur 108. Das Gradnetz ist so dargestellt, wie es sich bei horizontal festgestelltem Radius von einem proximal vom Zentrum gelegenen Punkte aus darstellen würde (man sieht beide Polstellen). Die beiden engeren Kurven Rc, Jc und T geben die Exkursionsgrenzen für das Radiokarpalgelenk allein und für das Intrakarpalgelenk allein. Die weite Kurve ist die Exkursionsgrenze für das ganze gemeinsame Handgelenk. Als 0-Meridian ist die Mitte des Verkehrsgebietes des III. Metakarpalköpfchens angenommen. Der Ort des letzteren in der absoluten Streckstellung ist 10—15° weiter ulnarwärts über dem Äquator gelegen[1]). O. Fischer hat auch noch die Exkursionsgrenzen im Radiokarpalgelenk und im Intrakarpalgelenk bei jeweiliger Versteifung der ersten Handwurzelreihe bestimmt; sie sind natürlich etwas enger als bei fehlender Versteifung[1]).

Zwischen- und Grenzstellungen.

Wenn der Radius vollkommen festgehalten wird, so daß jede pronatorische oder supinatorische Drehung desselben ausgeschlossen ist, so entspricht irgend einer Stellung der Mittellinie des Grundteiles der Hand erstens einmal eine einzige und ganz bestimmte Orientierung der Hauptebene desselben. Man kann wohl sagen, daß es diejenige

[1]) Genau genommen verläuft die Polachse der abgebildeten O. Fischerschen Exkursionskugel dorsovolar und zugleich etwas proximalwärts zur Hauptebene des Radius. Das III. Metakarpalköpfchen steht in der Mittellage im Äquator und O-Meridian der Exkursionskugel, etwas volar von der Hauptebene des Radius und nicht bloß ulnarwärts, sondern auch etwas volar von dem Ort desselben in der absoluten Strecklage. Letzterer ist nicht genauer angegeben, muß aber natürlich in dem Fischerschen Gradnetz etwas oberhalb des Äquators gesucht werden.

Orientierung ist, bei welcher die zweite Handwurzelreihe möglichst wenig aus der Hauptebene des Vorderarmes abweicht. Zweitens entspricht dieser Stellung im wesentlichen eine einzige bestimmte Form und Stellung der ersten Handwurzelreihe.

Kleine Längsdrehungen können durch äußere Gewalt in dieser Stellung erzwungen werden, namentlich am Bänderpräparat. Am Lebenden gelingt es um so weniger, je größer die gemeinsame Anspannung der Muskeln, welche über das Handgelenk hinweggehen, und der dadurch bewirkte Kraftschluß ist. Aktiv sind wir nicht imstande, mehr als ganz minimale Längsrotationen auszuführen, vor allem weil an den Muskeln die längsrotatorischen Momente kaum vorhanden sind.

Die Fläche, welche von dem Mittelpunkt des III. Metakarpalköpfchens bei festgestelltem Radius beschrieben wird, ist annähernd eine Kugelfläche. Der radioulnare und der dorsovolare Durchmesser des Köpfchens bilden für jede Stellung der Hand ein Kreuz. Es fragt sich nun, ob sich zwei Systeme sich senkrecht kreuzender Kreislinien der Extensionskugelfläche finden lassen, mit denen die beiden Schenkel des Kreuzes bei jeder Stellung der Hand zusammenfallen, oder mit denen sie stets denselben Winkel bilden. Diese Kreislinien könnten sich dann verhalten wie zwei Systeme von Richtungskreisen oder vielleicht wie ein Doppelsystem, das aus Meridianen und Parallelkreisen besteht. Es ist a priori, mit Rücksicht auf den unregelmäßigen Charakter, namentlich des Intrakarpalgelenkes, nicht zu erwarten, daß sich das Kreuz der beiden Köpfchendurchmesser genau nach dem einen oder anderen Doppelsystem einstellt. Um hierüber einige Daten zu gewinnen, bin ich folgendermaßen verfahren: Die halbkuglige Kuppel einer Glasglocke wurde mit einem Gradnetz versehen, entsprechend demjenigen der östlichen oder westlichen Hemisphäre eines Erdglobus. Die Glocke wurde oben auf einen Dreifuß befestigt und die Hand so eingeführt, daß die Handgelenkmitte annähernd mit dem Krümmungsmittelpunkt zusammenfiel, der Radius vertikal gestellt, der Ellbogen auf der Tischfläche unterstützt war. Zugleich wurde dafür gesorgt, daß nennenswerte Pronations- und Supinationsbewegungen nicht stattfinden konnten. Die Hand war stark zur Faust zusammengeballt, so daß die distale Fläche der Gegend des III. Metakarpalköpfchens, eine dorsovolar gestellte Querlinie, mit Tusche aufgezeichnet werden konnte. Nach dieser wurde durch ein auf die Oberfläche der Glasglocke senkrecht zur Fläche aufgesetztes kurzes Rohr mit doppeltem Fadenkreuz visiert. Es war nun leicht möglich, die Radiärprojektion des Querstriches für verschiedene Grenz- und Mittelstellungen der Hand auf die Kugeloberfläche aufzuzeichnen. Diese Methode macht keinen Anspruch auf größere Genauigkeit. Das in Fig. 109 dargestellte Resultat eines solchen Versuches zeigt aber völlig genügend klar das Wesentliche der Stellungsänderung. (Genauere Resultate werden sich mit dem Perimeter von Hübscher gewinnen lassen.)

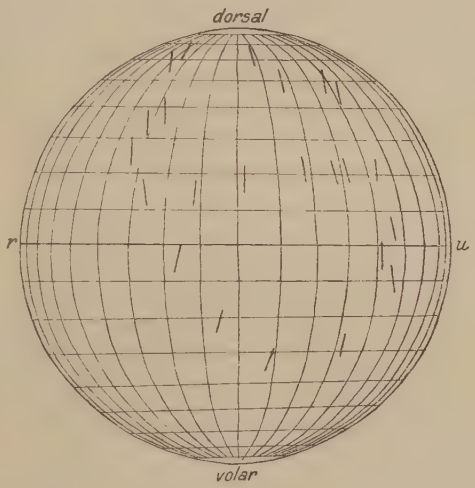


Fig. 109.

Die größte Exkursion ist möglich von einer dorsalen und etwas radialwärts abgelenkten Stellung in eine volarwärts und ulnarwärts abgelenkte Stellung; sie ist fast doppelt so groß als die größte radioulnare Exkursion. Wegen der Volarbeugung der Finger ist natürlich die Volarablenkung vermindert, die Dorsalablenkung etwas vergrößert. Die quer dorsovolar zum dritten Metakarpalköpfchen stehende Linie stellt sich im großen und ganzen in Meridiane ein, welche durch eine senkrecht (dorsovolar) zur Hauptebene des Radius verlaufende Polachse gehen; wenn das genau der Fall wäre, so würden die radioulnaren Drehungen um diese Polachse, die Dorsovolardrehungen um eine zum Grundteil der Hand feststehende radioulnarwärts verlaufende Achse stattfinden. Es zeigt sich aber bei genauerem Zusehen, daß in ulnarwärts abgelenkten Stellungen die genannte Querlinie sich in Linien einstellt, welche im Sinn von vertikalen Richtungskreisen, nur noch etwas stärker von den Meridianen abweichen; die Volarbewegung in radialer Ablenkung ist mit etwas pronatorischer Drehung verknüpft. Das bedeutet, daß die Achse der Dorsovolarbewegung hier etwas weniger ulnarwärts gedreht ist als der Grundteil der Hand, und aus der radioulnar zum Radius verlaufenden Richtung weniger abgewichen ist. Analog, nur viel ausgesprochener ist die Ablenkung der dorsovalaren Querlinie des dritten Metacarpale aus den Meridianen in den Radialstellungen. Hier verbindet sich mit der Volarbewegung um eine radioulnar zum Grundteil der Hand verlaufende Achse eine starke supinatorische Drehung um die Hauptlinie dieses Grundteiles. Die Dorsovolarbewegung erfolgt also hier um eine annähernd radioulnar und fest zum Radius verlaufende Achse, welche vielleicht nach der ulnaren Seite hin zugleich etwas proximalwärts verläuft. Die radioulnare Bewegung aber bei starker dorsaler und starker volarer Ablenkung geschieht nicht genau um die Polachse, sondern in Verbindung mit pronatorischer Drehung um die Mittellinie des Grundteils, also um eine Achse, welche jeweils weniger zum Radius als zum Grundteil der Hand dorsovolarwärts gerichtet ist.

Es läßt sich in den Verhältnissen dieser Einstellung sehr gut das Zusammentreffen von Bewegung im Radiokarpal- und im Intrakarpalgelenk und der Einfluß des radialen und des ulnaren Kraftschlusses im Intrakarpalgelenk erkennen.

Im einzelnen zeigen derartige Versuche über die Stellungen im Handgelenk bei der rechten und linken Hand und bei verschiedenen Personen nicht unerhebliche Unterschiede, namentlich was die Größe der Exkursion betrifft.

Daß die Bewegungen im gemeinsamen Handgelenk nicht genau dem Listingschen Gesetz folgen, ist wohl selbstverständlich. Es gibt keine Primärstellung, aus der die Hand (ihr Grundteil) durch Drehung um je eine einzige, zu ihr querstehende Achse in jede beliebige abgelenkte Stellung übergeführt werden könnte (vgl. die hiervon abweichende Angabe von R. Fick, III. Bd., S. 394). Im allgemeinen wird sich allerdings der Drehung um eine quere Achse um so mehr Längsrotation in bestimmtem Verhältnis beigesellen müssen, je deutlicher die Hand aus einer abgelenkten Stellung in eine zweite abgelenkte Stellung nicht durch die Mittelstellung hindurch, sondern unter Circumduktion übergeführt wird.

δ) Kapseln und Bänder des Handgelenkes.

1. Kurze Bänder der ersten Handwurzelreihe.

Vom Erbsenbeingelenk und von den Verbindungen des Pisiforme mit dem Triquetrum sehen wir zunächst ab. Triquetrum und Lunatum, sowie Lunatum und Naviculare sind durch kurze marginale Bänder an der dorsalen proximalen und volaren Peripherie der Trennungsfläche miteinander verbunden. Diese greifen als Ligg. interossea mehr oder weniger tief in die Zwischenräume zwischen den genannten Knochen hinein. Im Rest des Zwischenraumes sind die beiden Skelettstücke voneinander durch eine Spalte getrennt, welche in der Regel mit der Hauptspalte des Intrakarpalgelenkes kommuniziert (s. Fig. 64).

Die Verbindung der 3 Elemente miteinander ist eine weniger starre als die Verbindung der 4 Elemente der zweiten Reihe (s. o.). Ihr genaueres Verhalten kann allerdings nur an einer isolierten Handwurzelreihe studiert werden, unter weiterer völliger Zerlegung. Am geringsten ist die Beweglichkeit zwischen Triquetrum und Lunatum, größer diejenige zwischen Lunatum und Naviculare. (Eine noch größere Beweglichkeit zeigt das Gelenk zwischen Triquetrum und Pisiforme.)

2. Kapsel und Bänder an der Dorsalseite des Handgelenkes.

Die Kapseln des Radiokarpalgelenkes und des Intrakarpalgelenkes mit ihren Bändern lassen sich an der Dorsalseite bei sorgfältiger Präparation fast überall voneinander abgrenzen, obschon sie bei oberflächlicher Betrachtung miteinander zusammenzuhängen scheinen. Zwischen den beiden Kapseln eindringend, gelangt man, ohne die Gelenke zu er-

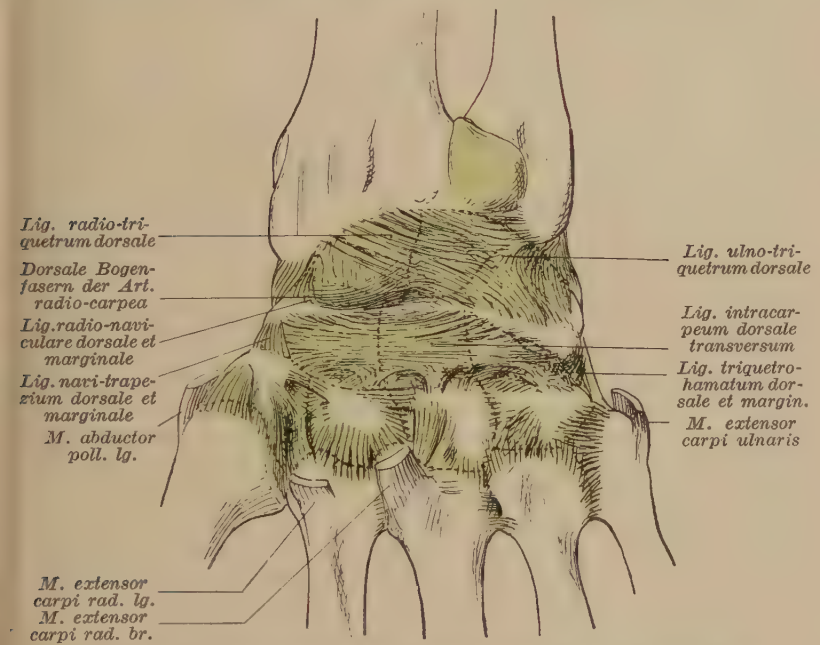


Fig. 110. Gelenkkapseln und Bänder der Hand. Dorsalseite.

öffnen, zu einem ganz schmalen Streifen der Knochenoberfläche der ersten Reihe, der sich fast quer und in der Mitte nur ganz leicht proximalwärts ausgebogen vom Höcker des Naviculare über den dorsalen Rand des Lunatum zum distalen Ende des Triquetrum hinüberzieht. An beiden Rändern der Handwurzel verbreitert sich der Streifen, radialerseits so weit, daß der Höcker des Naviculare und der navikulare Ansatz des

Lig. carpi transversum mit dem Sehnenkanal des Flexor carpi radialis an ihm Platz findet, ulnarerseits aber in noch größerem Betrag, so daß das Gelenk für das Pisiforme auf dem Zwischenstreifen Platz findet. Am schwersten voneinander zu sondern sind die beiden Kapseln auf der Mitte des Dorsum; hier können wirklich oberflächliche Faserzüge aus der einen Kapsel in die andere übergehen (s. Fig. 110). Der proximale Ursprungsrand der Kapsel des Radiokarpalgelenkes entspricht dem Rand der Pfanne am Radius und Dreieckknorpel und erreicht den Processus styloides ulnae. Der distale Ansatz der Kapsel dieses Gelenkes liegt knapp jenseits der überknorpelten proximalen Gelenkfläche der ersten Reihe (Naviculare, Lunatum, Triquetrum).

Da am Intrakarpalgelenk die pfannenartigen Teile in der Mitte von der ersten Reihe, am radialen und ulnaren Ende von der zweiten Reihe gebildet werden, so entspricht der Ursprung seiner Kapsel in der Mitte dem distalen Rand der ersten Reihe, greift aber über die Endgelenkfläche des Naviculare und über den ulnaren Teil der Gelenkfläche des Triquetrum proximalwärts hinüber. Daraus erklärt sich der fast quere Verlauf der Kapselursprungslinie. Ähnlich, nur umgekehrt, verhält es sich mit der distalen Ansatzlinie der Kapsel des Intrakarpalgelenkes; sie folgt dem Rand der von den Multangula gebildeten Pfanne; überschreitet das Capitatum jenseits der Kopfwölbung in der dorsalen Querrinne und nähert sich am Triquetrum allmählich dem Rand der proximalen Gelenkfläche. Sie ist dabei ein wenig distalwärts ausgebogen.

Dem Angeführten zufolge kann es sich an der Dorsalseite des Handgelenkes wesentlich nur um eingelenkige Bänder handeln, welche entweder dem Radiokarpalgelenk oder dem Intrakarpalgelenk angehören.

a) Dorsale Verstärkungsfasern (Bänder) des Radiokarpalgelenkes.

Das hauptsächliche Verstärkungsband der dorsalen Kapselwand des Radiokarpalgelenkes ist das Lig. radiotriquetrum dorsale (H. Virchow) (Lig. radiocarpeum dorsale B. N. A., Lig. rhomboides früherer Autoren). Es entspringt breit von der dorsalen Randkante des Radius bis gegen den Processus styloides hin und zieht schräg distalwärts ulnarwärts zum Triquetrum. Die am nächsten der Ulna entspringenden Fasern erreichen, im Bogen leicht zurückbiegend, den Processus styloides ulnae, verwebt mit und im Anschluß an Fasern, welche von diesem aus schräg distalwärts ulnarwärts zum Triquetrum gehen.

Die Fasern vom Processus styloides, welche am meisten quer oder schräg radialwärts in die dorsale Kapselwand und gegen das Triquetrum ausstrahlen, können gegenüber den mehr distalwärts, zur Ulnarseite des Triquetrum fächerförmig sich ausbreitenden Fasern als ein besonderes Band hervortreten, das man als Lig. stylotriquetrum dorsale bezeichnen dürfte. Auch bei guter Ausprägung stellt es nur ein sehr unansehnliches Gegenstück zum Lig. radiotriquetrum dar. (Spalteholz bezeichnet dieses Band wohl unzweckmäßig als Lig. collaterale carpi ulnare.)

Das Lig. radiotriquetrum ist vor allem ein Hemmungsband der adialflexion im Radiokarpalgelenk, bei welcher die erste Handwurzel-ihe in der Pfanne des Vorderarms ulnarwärts gleitet; es spannt sich er auch bei der Volarflexion; ferner hemmt es mit anderen Faser-igen (der Volarseite) die supinatorische Längsdrehung der Hand gegen-ber dem Radius.

H. Virchow hebt ganz richtig hervor, daß das von der Faszie gebildete g. carpidorsale commune, insofern es am Radius entspringt und sich ulnarerseits cht an der Ulna, sondern am Carpus ansetzt, eine Art Verstärkung resp. Duplitur des Lig. radiotriquetrum darstellt. Doch ist beizufügen, daß es bei der rsalflexion der Hand durch die Anspannung der Fingerstrecker gespannt wird. es kann der aktiven Dorsalbewegung beim Lebenden ein Moment zur pronatochen Längsrotation der Hand gegenüber dem Radius beimischen.

Eigentliche Seitenbänder der Art. radiocarpea, wie sie von rschiedenen Autoren (als Ligg. collateralia ulnare und radiale) behrieben werden, sind in Wirklichkeit nicht nachweisbar, wie H. Virchow it Recht betont. Die schon erwähnte, vom Processus styloides ulnae ir Ulnarseite des Triquetrum fächerförmig sich ausbreitende Faserlage rdient nicht den Namen eines Bandes. Noch weniger können die von r Ulna zum apart beweglichen Erbsenbein gehenden Fasern als Seitenand des Radiokarpalgelenkes in Betracht kommen (s. u.).

Am radialen Rande des Gelenkes sind die nächsten stärkeren Faserge, welche auf das Lig. radiotriquetrum folgen, solche, welche von der pitze des Processus styloides radii aus, das Naviculare überschreitend, hräg in den volaren Bandapparat des Handgelenkes eintreten. Zu m benachbarten Rand der Gelenkfläche des Naviculare geht vom rocessus styloides radii aus nur eine verhältnismäßig schwache, fächerrmig ausgebreitete Faserlage, die auch nicht die Bedeutung eines ahren Seitenbandes haben kann. Wenn dorsale Züge derselben etwas tärker entwickelt sind, so können sie als Lig. radionaviculare orsale bezeichnet werden. Der Ausdruck Lig. radiocarpeum ist mißerständlich; man ersieht nicht, ob es sich um die Zugehörigkeit zur rticulatio radiocarpea ausgesprochen oder um den Verlauf zwischen adius und Carpus handelt.

Nahe dem Ansatz der Kapsel an der Dorsalseite des Naviculare önnen Bogenfasern entwickelt sein, welche, vom Processus styloides dii ausgehend, um die dorsale Wölbung des Naviculare herumgreifen, m sich weiter ulnarwärts namentlich am Lunatum anzusetzen und sich it dem Lig. radiotriquetrum zu durchflechten.

b) Dorsale Kapselwand des Intrakarpalgelenkes.

Die dorsale Kapselwand des Intrakarpalgelenkes stellt einen fast uer verlaufenden, in der Mitte etwas breiteren Streifen dar. Bei der olarbeugung der Hand tritt der Kopf des Capitatum gegenüber der rsten Handwurzelreihe stark dorsalwärts vor und hebt die betreffende apselwand mit sich empor. Es muß dieselbe vor allem der Quere ach und namentlich distal vom Kopf des Capitatum in einem vom riquetrum zum Naviculare hinüberlaufenden Streifen, an dem sich er Kopf des Capitatum gleichsam fängt, stark angespannt werden.

Indem dieser Streifen aber zwischen den Enden der ersten Handwurzelreihe proximal zurückgehalten wird, während die distal gelegenen dorsalen Teile der zweiten Reihe, insbesondere die Multangula und der distale Teil des Capitatum sich weiter entfernen, spannt sich die Kapsel auch zwischen diesem Streifen und ihrer distalen Ansatzstelle an den vorragenden Punkten der zweiten Reihe. Danach muß man erwarten, daß in der dorsalen Kapselwand des Intrakarpalgelenkes eine starke Querfaserung enthalten ist, welche sich vor allem beiderseits an den Enden der ersten Handwurzelreihe ansetzt, daß aber von dieser Faserung beiderseits eine Abzweigung auch zum Multangulum majus und zum Triquetrum geht und daß außerdem intermediär aus demselben in variabler Weise Faserzüge zu vorragenden Stellen des Multangulum minus und Capitatum in schräger oder longitudinaler Richtung abbiegen können. Alles dies findet seine Bestätigung in den tatsächlichen Verhältnissen. Die Befestigungen der Querfaserplatte an der zweiten Reihe können als Retinacula der queren Faserung aufgefaßt werden. H. Virchow hat zuerst den ganzen Verstärkungsapparat in seinen wesentlichen Bestandteilen richtig beschrieben und ihm den Namen Lig. capsulocarpale dorsale beigelegt. Ich möchte dafür die Bezeichnung Lig. intracarpeum dorsale transversum vorschlagen. Seine Bedeutung als Hemmungsband der Dorsalflexion im Intrakarpalgelenk kann nicht in Frage stehen.

Übrigens sind auch diejenigen nicht ganz im Unrecht, welche den queren Faserzug als eine Art Fortsetzung der Pfanne betrachten.

Zu diesem gemeinsamen Verstärkungsfasersystem der dorsalen Kapselwand kommen nun noch jederseits besondere Verstärkungen, ulnarerseits das variable, stets schwache Lig. triquetro-hamatum dorsale und radialerseits das ebenfalls inkonstante und jedenfalls immer nur schwache Lig. navitrapezoides dorsale, das in der Gelenkkapsel schief ulnarwärts distalwärts verläuft und sich naturgemäß bei der Ulnar- und Volarflexion spannt, bei der Dorsal- und der Radialflexion aber erschlafft.

Seitenränder des Intrakarpalgelenkes.

In den eigentlichen Seitenteilen der Intrakarpalgelenkkapsel ist ulnarerseits kein ausgesprochenes Seitenband entwickelt, wohl aber radialerseits zwischen Naviculare und Trapezbein als Lig. navitrapezium marginale (laterale H. Virchow). Es funktioniert in dem Gelenkabschnitt zwischen Naviculare und Trapezbein, der in der Hauptsache (für die Dorsalvolarbewegung) einem Ginglymus mit spiralig eingekrümmter konvexer Gelenkfläche entspricht, als richtiges Seitenband. Es hält die beiden Knochen in enger Verbindung miteinander, erlaubt aber allerdings, daß bei der Ulnar- und Radialbewegung das Trapezbein auch etwas in querer Richtung am Ende des Naviculare ulnarwärts und radialwärts geht.

Es entspringt an der Tuberositas des Naviculare und geht fächerförmig ausgebreitet (mitunter in einen dorsalen und volaren Teil sich trennend) zum distalen ulnaren Querrand des Multangulum majus.

. Kapsel und Bänder an der Volarseite des Handgelenkes.

Wegen der queren Gewölbekrümmung der Handwurzel sind im llgemeinen die volaren Seiten ihrer knöchernen Elemente erheblich hmaler als die dorsalen. Als volare Seite der Handwurzel ist nur die nochenfläche zu betrachten, welche den gemeinsamen volaren Sehnenanal begrenzt, unter Hinzurechnung der Stellen, an denen sich das ig. carpi transversum ansetzt (Gegend des Sehnenkanals des Flexor rpi radialis, Tuberosität des Trapezbeins, Hamulus ossis hamati und lare Rinne am Pisiforme). Der volare Bandapparat muß schon aus esem Grunde, wegen der größeren seitlichen Zusammendrängung geschlossener und kräftiger sein. Es ist aber der volare Bandapparat ich absolut mächtiger ausgebildet, entsprechend den starken Kraftwirkungen, welche zur Dorsalbeugung der Hand im Handgelenk bei ufgestützter oder angestemmter Hand wirksam sind (Fig. 111 u. 112).

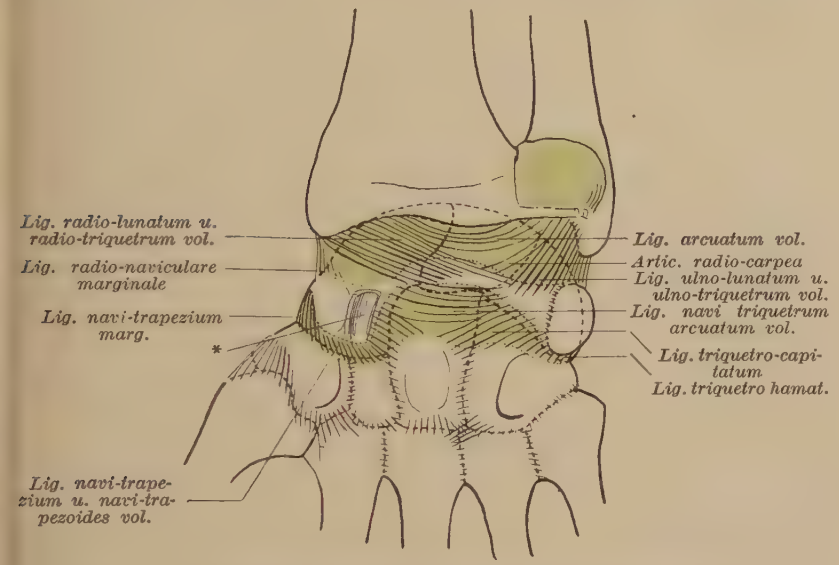


Fig. 111. Kapseln und tiefe Bänder der Volarseite der Hand.

Indem bei dieser Stellung der Kopf des Capitatum besonders tark nach der Vola vorspringt, erklärt sich, daß neben eingelenkigen olaren Bändern, welche bloß dem Radiokarpalgelenk oder bloß dem ntrakarpalgelenk zugehören, auch solche vorhanden sind, welche vom orderarm über die erste Handwurzelreihe hinweg bis zum Kopfbeinöpfchen gehen und also beiden Gelenken zugehören. Die letztenannten Bänder stellen offenbar neben den Eigenbändern der beiden roßen Handgelenke eine besondere dritte Kategorie der volaren Bänder ar. Viertens kommt an der Volarseite das Erbsenbein und Erbsen-

beingelenk in Betracht, das sich dicht neben resp. zwischen der Bandapparat der beiden Hauptgelenke befindet und in denselben sozu sagen eingeschaltet ist.

Daß im Bereich der zweiten Handwurzelreihe und der Carpo-Meta karpalgelenke an der Volarseite neben den kurzen Bändern längere vor kommen, welche mehr als ein Gelenk überspringen, wurde bereits er örtert; doch muß der betreffende Bandapparat hier noch einmal mit berücksichtigt werden.

Eine weitere Komplikation ergibt sich aus dem Ansatz des Lig carpi transversum und der radialerseits in denselben eingelassenen Sehne des M. flexor carpi radialis.

Der Ursprung der Kapsel des Radiokarpalgelenkes und ihrer Verstärkungsbänder folgt auch an der volaren Seite dem Rand der Pfanne vom Proc. styloides radii bis zum volaren Rand des Dreieck knorpels und zum Processus styloides ulnae. Die Gelenkhöhle des Radio karpalgelenkes bleibt von derjenigen des Intrakarpalgelenkes am Lunatum und Triquetrum durch ein breites Feld getrennt, das zur Anheftung mächtiger Verstärkungsbänder und als Unterlage für das Erbsenbein dient. Unter dem proximalen Teil des Naviculare dagegen kommen sich die beiden Gelenkhöhlen ziemlich nahe, wobei das Radiokarpalgelenk nur durch eine dünne, nicht verstärkte Kapselmembran abgeschlossen wird. Um dies zu sehen muß man die starken schrägen Faserzüge welche in schräg distalwärts ulnarwärts gerichtetem Verlauf über das Naviculare hinweg vom Radius zum Capitatum (und im Bogen zum Triquetrum und Lunatum) verlaufen und beiden Gelenken angehören durchschneiden. Am distalen Teil des Naviculare aber weichen die beiden Gelenke mit ihren Eigenkapseln auseinander, indem die Endgelenk fläche des Naviculare nur wenig weit auf die volare Seite übergreift (im Gegensatz zum Verhalten am Dorsum). So bleibt hier bis zum Lig navitrapezium laterale hin ein breiteres Feld des Naviculare frei zur Anlagerung der Sehne des M. flexor carpi radialis und zum Ansatz des Lig. carpi transversum. Ein faserknorpliges, fest mit dem Knochen verbundenes Polster dient der Sehne als Unterlage. Polster und Sehne überschreiten weiterhin den volaren Rand der Gelenkspalte zwischen dem Naviculare und Trapezbein und setzen sich in der Rinne des letzteren neben der Tuberosität weiter fort. Die Fasern des Lig. carpi transversum heften sich nicht bloß zu beiden Seiten der Sehne am Faserpolster und Knochen an, sondern setzen sich auch in ansehnlich dicker Schicht am Grund der Handwurzelrinne gegen das Capitatum und die Basen der II. und III. Metacarpale hin fort. Entfernt man diese Schicht, so gelangt man zunächst zu den Querbändern, welche schräg und quer vom Trapezbein am Trapezoidbein vorbei zur Basis des III. Metacarpale und zum Capitatum verlaufen. Erst nach Entfernung dieser Züge erreicht man die besonderen kurzen Bänder beiderseits vom Trapezoidbein. Proximal von dem Multangula aber, zwischen ihnen und dem Naviculare zeigt sich in querem und zwischen dem Naviculare und Capitatum in longitudinalem Streifen die eigene volare Kapselwand des Intrakarpalgelenkes. Sie ist verstärkt durch Fasern, welche quer resp. schräg distalwärts ulnar

ärts verlaufen und namentlich zwischen Naviculare und Capitatum iemlich lange, schräge Züge darstellen. Die Gelenkspalte des Intra-arpalgelenkes erstreckt sich ziemlich weit an der Volarseite des vom apitatum und Triquetrum gebildeten Gelenkkopfes distalwärts. Hier erbreitert sich die volare Kapselwand des Intrakarpalgelenkes. ie schließt dabei an die kurzen volaren Bänder zwischen Capitatum und amatum und an die Fasern im ulnaren Abschnitt der volaren Kapsel- and des Intrakarpalgelenkes zwischen Hamatum und Triquetrum mit asern an, welche zwischen dem volaren Höcker des Capitatum und dem riquetrum ausgespannt sind. Diese schräg distalwärts radialwärts erlaufenden Züge sind von ganz besonderer Mächtigkeit.

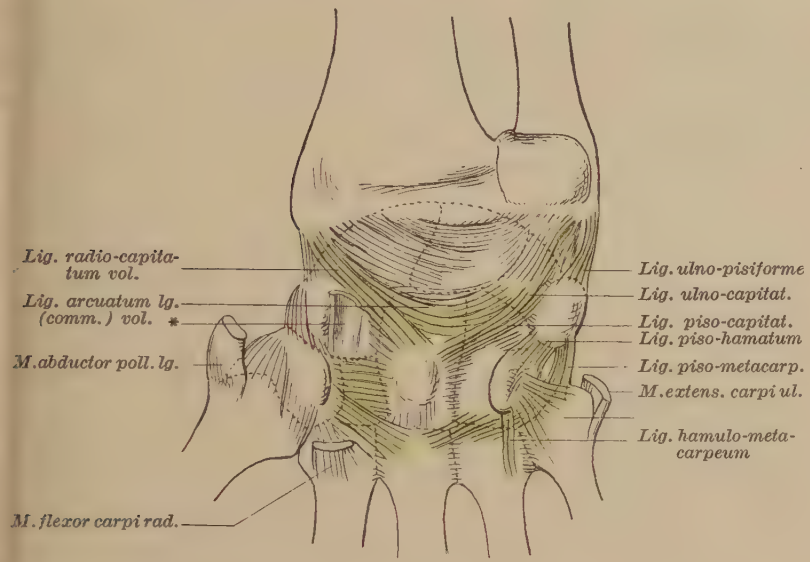


Fig. 112. Tiefe und oberflächliche Bänder der Volarseite.

Dagegen enthält der mittlere Teil der volaren Kapsel des Intra-arpalgelenkes zwischen dem Lunatum und dem volaren Höcker des apitatum so gut wie keine Eigenfasern, die mehr oder weniger longi-udinal verlaufen müßten, auch nicht in der Tiefe. Hier kommt nur die ächtige oberflächliche Faserung in Betracht, welche vom Processus yloides radii her teils zum volaren Höcker des Capitatum und zum eil als Bogenfaserung distal am Lunatum vorbei zum Triquetrum ge-ngt. Ihr können sich in der Tiefe Fasern anschließen vom Naviculare um Triquetrum. An die Bogenfaserung zum Triquetrum schließen sich istalerseits die Fasern vom Capitatum zum Triquetrum unmittelbar n. Nur unbedeutende oberflächlichste Faserzüge gehen direkt in gleicher ichtung vom Capitatum aus am Triquetrum vorbei bis zum Dreieck-norpel resp. der knorpelfreien Stelle der Ulna.

Entfernt man die vom Vorderarm über das Radiokarpalgelenk und die erste Handwurzelreihe bis in die Kapsel des Intrakarpalgelenkes gelangenden Fasern, sowie die Faserung, welche vom Dreieckknorpel und Processus styloideus ulnae in die Kapsel des Erbsenbeingelenkes einstrahlt (s. o.), so bleibt noch die Eigenfaserung des Radiokarpalgelenkes.

Hier handelt es sich vor allem um Fasern, welche vom Processus styloides radii und den angrenzenden Teilen der volaren Randkante des Radius aus schräg ulnarwärts und distalwärts zum Lunatum ziehen. Oberflächliche Fasern können auch noch weiter bis zum Triquetrum gelangen. Weniger mächtig ist die Faserung, welche umgekehrt schräg vom volaren Rand des Dreieckknorpels zum Triquetrum hinüberbrückt und sich mit den Enden der Bogenfasern verwebt. Endlich schließen sich proximalwärts an die beiden Faserzüge, die sich an der ersten Reihe festheften, noch Bogenfasern, welche frei durch die Kapsel vom Radius zum Dreieckknorpel verlaufen. Letztere können angespannt werden, wenn bei Dorsalbeugung die proximale Wölbung der ersten Handwurzelreihe volarwärts herausdrängt.

Die Benennung der Bänder an den beiden großen Handgelenken variiert sehr bei den verschiedenen Autoren. Die Bezeichnungen radiocarpale, ulnocarpale, antibrachiocarpale geben keinen Aufschluß darüber, ob sich das Band an der ersten oder an der zweiten Reihe anheftet. Andererseits besteht kein Zwang unter der Bezeichnung radiocarpale nur die Zugehörigkeit zur Articulatio radiocarpea zu verstehen. Man sollte danach trachten, daß in dem Namen des Bandes vor allem zum Ausdruck kommt, ob das Band zum ersten oder zum zweiten Gelenk oder zu beiden gehört. Dies geht meist aus den Anheftungsstellen des Bandes unmittelbar hervor. Wo dies nicht der Fall ist, muß in der Bezeichnung des Bandes darauf hingewiesen sein. Hierbei nun sollte man für die Zugehörigkeit zum ersten oder zweiten Gelenk oder zu beiden Gelenken je ein besonderes kurzes Wort zur Verfügung haben. Das zweite Gelenk, und was dazu gehört, kann man als intrakarpal bezeichnen, das erste Gelenk, und was dazu gehört, allenfalls als präkarpal. Die Bänder, die zu beiden Gelenken gehören, könnte man allenfalls ambartikulär nennen. Doch ziehen wir es vor, uns hier mit dem Ausdruck Lig. commune s. longum (articulationis manus) zu behelfen.

Durch Beifügung eines kleinen Zeichens in Text und Abbildung kann die Gelenkzugehörigkeit stets leicht und bequem vermerkt werden: m^1 soll z. B. die Zugehörigkeit zum ersten Gelenk bedeuten, Lig. m^1 wäre demnach zu lesen: Lig. primae articulationis manus (Lig. art. radiocarpeae), m^2 bedeute in ähnlicher Weise die Zugehörigkeit zum zweiten (zum Intrakarpal-) Gelenk, M die Zugehörigkeit zu beiden Gelenken, p die Zugehörigkeit zum Pisiformegelenk; (m^1 + p) die gleichzeitige Zugehörigkeit zum Radiokarpal- und zum Pisiformegelenk usw.

Auf Grund dieser Vereinbarung ergibt sich nun folgende Nomenklatur und folgende Übersicht für die Bänder des Handgelenkes.

I. Eigenbänder des Radiokarpalgelenkes (Ligg. m^1 = Ligg. primae articulationis manus = Ligg. praecarpalia).

Dorsalseite und Schmalränder (Ligg. m^1 dorsalia et marginalia):

Lig. radiotriquetrum dorsale,
Lig. ulno (menisco-) triquetrum dorsale,
Lig. ulnotriquetrum marginale,
Dorsale Bogenfasern des I. Gelenkes = Lig. arcuatum art. radiocarpeae dorsale, = Lig. arcuatum m^1 dorsale,
Lig. radionaviculare dorsale und marginale.

Volarseite (Ligg. m^1 volaria):

Lig. artic. radiocarpeae arcuatum volare,
Lig. radiolunatum und radiotriquetrum volare,
Lig. ulnolunatum und ulnotriquetrum volare,
Lig. ulnotriquetrum marginale.

II. Eigenbänder des Intrakarpalgelenkes (Ligg. m^2 = Ligg. articulationis secundae manus = Ligg. intracarpalia).

Dorsalseite und Schmalränder (Ligg. m^2 dorsalia et marginalia):

Lig. intracarpale dorsale transversum mit Retinaculis,
Lig. navi-trapezium dorsale und marginale,
Lig. triquetrohamatum dorsale und marginale.

Volarseite (Ligg. m^2 volaria):

Ligg. navitrapezium und navitrapezoides volare,
Lig. navicapitatum volare und Lig. navitriquetrum m^2 arcuatum volare,
Lig. triquetrocapitatum volare (anschließend an die volaren Bänder zwischen den Elementen der zweiten Reihe).

III. Gemeinsame Bänder des Handgelenkes (Ligg. M = Ligg. communia s. longa articulationis manus).

Lig. arcuatum volare longum (s. commune) = Lig. arcuatum M volare,
Lig. radiocapitatum,
Lig. ulnocapitatum.

Die von den Multangula und vom Hamatum, vom Naviculare und Triquetrum, vom Processus styloides radii und eventuell vom Dreieckknorpel gegen den volaren Höcker des Capitatum konvergierend verlaufenden Bänder bilden zusammen ein System von Bändern, welches von Henle als Lig. radiatum bezeichnet wurde. Die B. N. A. hat diesen Namen adoptiert. Es erscheint aber rationeller, die Bänder funktionell, nach ihrer Zugehörigkeit zu den verschiedenen Gelenken zu gruppieren, wie solches im vorhergehenden geschehen ist.

Die volaren Bogenfasern des ersten und des zweiten Handgelenkes, die schrägen Fasern, welche im ersten Gelenk von beiden Seiten her zum Lunatum und Triquetrum, im zweiten Gelenk zum volaren Höcker des Capitatum treten und die langen gemeinsamen volaren Bänder des Handgelenkes, welche teils im Bogen jenseits des Capitatumkopfes zu-

sammenhängen, teils gegen den volaren Höcker des Capitatum verlaufen, gehören funktionell zusammen, insofern sie die Dorsalflexion der Hand in beiden Gelenken hemmen. An der distal vom Lunatum vorbeiziehenden Bogenfaserung fängt sich der volarwärts heraustretende Kopfbeinkopf. Im Intrakarpalgelenk wird die Radialbewegung durch das Lig. triquetrohamatum, die Ulnarablenkung durch das Navicapitatum und die weiter radialwärts gelegenen Bänder gehemmt. Im Radiokarpalgelenk ist besonders gut für die Hemmung der Radialablenkung gesorgt, sowohl durch das Lig. radiolunatum (und radiotriquetrum) an der Volarseite, als durch das Lig. radiotriquetrum dorsale. Die relativ schwachen Ligg. ulnotriquetrum dorsale und ulnotriquetrum (und -lunatum) spannen sich erst bei stärkerer Ulnarflexion im Radiokarpalgelenk. Sie werden dabei anscheinend durch das Lig. longum radiocapitatum volare unterstützt.

Das Erbsenbeingelenk und seine Bänder.

Das Erbsenbein ist dem ulnaren Teil des Triquetrum an der volaren Seite aufgesetzt. Die Gelenkfläche des Triquetrum ist im ganzen flach, immerhin namentlich in longitudinaler Richtung deutlich volarwärts konvex. Die Kapsel gestattet eine ziemlich freie Beweglichkeit. In distaler Richtung ist die Verschiebung durch den Hamulus ossis hamati beschränkt.

Das Erbsenbein macht teilweise die Bewegung des starren Teiles der Hand gegenüber der ersten Reihe mit. Bei der Dorsalbewegung gleitet es am Triquetrum etwas distalwärts, bei der Volarbewegung wird es an ihm distalwärts geschoben, stemmt sich dann aber auf das Köpfchen der Ulna (resp. den Meniscus), bei der Radialbewegung gleitet es am Triquetrum etwas radialwärts, bei der Ulnarbewegung ulnarwärts.

Vom Pisiforme aus gehen oberflächliche Faserzüge, den ulnaren volaren Schrägbändern des Handgelenkes angeschlossen, zum Capitatum. Wie diese, so überschreitet auch das mächtige zum Hamulus ossis hamati ziehende Band das Intrakarpalgelenk. Oberflächlich ulnarerseits am Hamulus und den letztgenannten Bändern verlaufen direkte Faserzüge vom Pisiforme zur Basis des fünften, vierten, ja selbst des dritten Metacarpale. Alle diese Züge können als indirekte Fortsetzungen der Sehne des Flexor carpi ulnaris betrachtet werden, das Erbsenbein aber als ein in die Sehne eingelassenes, in die ulnare Seite des gemeinsamen Handgelenkes eingeschaltetes Sesambein. Je nach der Stellung der Hand zum Vorderarm setzt sich der Zug des Muskels vom Erbsenbein aus in der einen oder anderen Richtung dieser Bänder fort.

ε) Muskelwirkung am Handgelenk.

1. Volar- und Dorsalbewegung.

Zur Volarbewegung wirken vor allem die langen Fingerbeuger nach Maßgabe des Abstandes ihres faktischen Angriffspunktes

n den Wänden des volaren Handwurzelkanales von den Drehungsachsen nd desjenigen Anteiles ihrer Spannung, der sich nicht in der Bewegung er Finger erschöpft. Diejenigen Punkte der Wand des Handwurzelanals müssen als faktische Angriffspunkte betrachtet werden, über welche sie wie über Rollen hinübergehen. In mittlerer Stellung, bei welcher die Sehnen ohne Umbiegung durch den Kanal hindurchgehen, liegen die Kraftlinien in den Sehnen selbst bis zu ihrem nächsten Umbiegungspunkt resp. ihrer Ansatzstelle. Ferner sind Volarbeweger der Hand der M. flexor carpi ulnaris (faktische Kraftlinie die Sehne selbst, proximal vom Pisiforme; die Einwirkung kann sich z. T. als Druck übertragen auf die Gelenkfläche, welcher das Pisiforme aufruht) und der M. flexor carpi radialis (faktischer Angriffspunkt der Eingang des Kanales im Radialansatz des Lig. carpi transversum), endlich der M. palmaris longus.

Am Lebenden wird, wie wir bereits hervorgehoben haben, bei der Volarbewegung und namentlich bei der Volarbeugung aus der Streckstellung die Bewegung der ersten Handwurzelreihe im Radiokarpalgelenk nicht bloß indirekt durch Vermittlung des starren Teils der Hand hervorgerufen, sondern direkt durch volarerseits an der ersten Reihe angreifende Kräfte unterstützt.

Solches ist nicht in analoger Weise der Fall bei der Dorsalbewegung. Als Muskeln der Dorsalbewegung wirken vor allem die Strecker der 4 langen Finger und der Ext. pollicis longus, ferner die beiden Radialextensoren und der Ext. carpi ulnaris. Von allen diesen Muskeln greift kein einziger direkt an der ersten Handwurzelreihe an und auch das Lig. carpi dorsale in seiner Rolle als Retinaculum bei der Dorsalbeugung kommt nur in untergeordneter Weise durch seinen Ansatz an der ulnaren Seite der Handwurzel in Betracht. Diese Verschiedenheit ist vielleicht bei der Entwicklung des Handgelenkes von einiger Bedeutung für die größere Beteiligung des Intrakarpalgelenkes an der Exkursion bei der Dorsalbeugung und seine geringere Mitwirkung bei der Volarbeugung.

2. Muskeln der Radial-Ulnarbewegung.

Die radial vom Kopf des Capitatum vorbeiziehenden Muskeln sind Radialbeweger, die ulnar davon gelegenen unterstützen die Ulnarbewegung. Die Sehnen des gemeinsamen Fingerstreckers werden bei der Radial- und Ulnarablenkung ziemlich genau über der Mitte des Kopfbeinköpfchens gehalten. Die Indicatorsehne rückt bei der Ulnarbeugung auf dasselbe hinauf und gleitet bei der Radialbeugung von ihm radialwärts ab.

An der Vola bleiben die langen Beugesehnen ziemlich genau volar vom Kopfbeinköpfchen.

Zur Ulnarbewegung wirken außer dem Flexor und Extensor carpi ulnaris auch der Extensor digiti minimi, zur Radialbewegung natürlich abgesehen vom Indicator in der Radialbeugestellung) der Extensor pollicis longus, der Extensor pollicis brevis und der Abductor pollicis longus.

γ) Arbeitsvermögen.

Bemerkenswert ist das Übergewicht der Masse des Muskelfleisches der Handgelenkbeuger über die Handgelenkstrecker.

Während aber bei den Fingergelenken und langen Fingerbeugern die Längenänderung bei der gleichen Exkursion im Gelenk mindestens zweimal so groß ist als bei den langen Streckern, entsprechend der größeren Länge der Hebelarme, weswegen selbst für die Einheit der Spannung in der Sehne die Kraftmomente der Beuger proportional größer sind, ist bei den dorsovolaren Exkursionen im Handgelenk der Unterschied der Längenänderung der dorsalen und volaren Muskeln im Durchschnitt kein so erheblicher (immerhin etwas zugunsten der Volarbewegung). Doch muß auch am Handgelenk mit Rücksicht auf die größeren Querschnitte der Muskeln für die Volarbeweger eine größere durchschnittliche Arbeitsleistung angenommen werden. Will man die maximale mögliche Arbeitsleistung bei einer bestimmten maximalen Gelenkexkursion aus der Längenänderung des Muskels (Verschiebung der Sehne) und aus der Querschnittsgröße (mittlere maximale Spannung pro Quadratzentimeter Querschnitt) berechnen, so dürfen dazu, streng genommen, nur die „effektiven Querschnitte" (s. d. Lb. 3. Bd. S. 49) zugrunde gelegt werden.

In einer fleißigen, unter der Leitung von E. Bugnion angestellten Untersuchung hat Lydie Egon de Besser (1899) die Verkürzungsgrößen der Hand- und Fingermuskeln bei der maximalen Exkursion in den verschiedenen von ihnen übersprungenen Gelenken und bei kombinierter Bewegung in mehreren oder allen Gelenken gemessen und miteinander verglichen.

R. Fick (Handb. III. S. 429) berechnete die entsprechenden Arbeitsgrößen unter Zugrundelegung der Querschnittsbestimmungen von Ed. Weber und Annahme einer mittleren aktiven Spannung von 10 kg pro Quadratzentimeter Querschnitt. Wir geben eine Anzahl der so von Besser und R. Fick gewonnenen Daten übersichtlich in einer Tabelle. Aus derselben läßt sich u. a. ersehen, daß dem Flexor carpi ulnaris entgegen der Meinung von Duchenne tatsächlich ein recht beträchtlicher Einfluß zur Randbewegung der Hand zukommt. Beim Flexor carpi radialis ist ein solcher Einfluß zwar nachweisbar, aber bemerkenswert klein.

Aus der Tabelle geht ferner hervor, daß die langen Fingerbeuger eine größere Längenänderung erfahren bei maximaler Dorsovolarexkursion im Handgelenk, als bei maximaler Exkursion in allen drei Fingergelenken zusammen.

Da die Muskeln des Handgelenkes an letzterem wesentlich longitudinal laufen, so ist von vornherein wahrscheinlich, daß die Drehungen der Hand zum Vorderarm wesentlich um quere Achsen stattfinden werden. Doch lehrt erst eine genauere Untersuchung und theoretische Überlegung die genauere Richtung der möglichen und tatsächlich stattfindenden Drehungen kennen. Es zeigt sich dann, daß wirklich für jede Stellung im Radiokarpalgelenk wesentlich nur zwei annähernd

Muskel	Querschnitt nach Ed. Weber in qcm	Maximale Längenänderung bei der Dorsal-Volar-bewegung	Arbeit in kg/m
Flexor digit. subl.	10,7	45 mm	4,815
Flexor digit. prof.	10,8	42 „	4,536
Flexor carpi ulnaris	5,0	39 „	1,950
Flexor carpi radialis	2,16	38 „	0,821
Extensor digit. comm. . . .	4,3	40 mm	1,720
Extensor carpi. rad. br. . . .	2,2	40 „	1,888
Extensor indicis proprius . .	1,2	38 „	0,456
Extensor carpi. rad. long. .	3,14	34 „	1,068
Extensor carpi ulnaris . . .	5,3	21 „	1,113
		Maximale Längenänderung bei der Radial-Ulnar-bewegung	
Extensor carpi ulnaris . . .	1,060	20 mm	1,060
Flexor carpi ulnaris	0,700	14 „	0,700
Extensor carpi rad. long. . .	3,14	36 mm	1,130
Abductor pollic. long. . . .	1,84	21 „	0,386
Extensor carpi rad. brev. .	2,22	14 „	0,311
Extensor pollicis long. . . .	0,56	14 „	0,078
Extensor indicis propr. . . .	1,20	7 „	0,084
Flexor carpi radialis	2,16	3 „	0,065

Verkürzungsgrößen des gleichen Muskels bei maximaler Exkursion in den verschiedenen Gelenken:

Maximale dorsovolare Exkursion im	Indexportion des Flexor digit. sublimis	Indexportion des Flexor digit. profundus
2. Interphalangealgelenk	—	6,4
1. Interphalangealgelenk	14,3	14,0
Metacarpophalangealgelenk	19,9	18,8
Handgelenk (170°)	45,8	46,1
Gesamtverkürzung bei maximaler Exkursion in allen Gelenken	80	85,3

senkrecht zueinander stehende und annähernd longitudinal verlaufende Drehungsebenen und zwei entsprechende Drehungsachsen in Betracht kommen. Eine irgendwie erhebliche selbständige aktive Längsrotation um die Schnittlinie dieser Drehungsebenen ist ausgeschlossen und auch anderen Kräften als den Handgelenkmuskeln gegenüber ist sie fast völlig verhindert. Insofern aber die Achsen der wirklich im Radiokarpalgelenk ausgeführten Bewegungen in den verschiedenen Stellungen nicht genau quer zu den Mittellinien des Radius und der Hand stehen, muß natürlich den Drehungen der Hand in diesem Gelenk ein gewisser Anteil von Längsrotation um diese Mittellinien im pronatorischen oder supinatorischen Sinn beigemischt sein.

III. Das Ellbogengelenk und die Radioulnarverbindung.

Soll die Kenntnis des anatomischen Aufbaues einer Körpergegend as Verständnis der äußeren Formen und ihrer Veränderung bei der elenkbewegung erleichtern, so müssen wir vor allem die gröbere Massenordnung des Skelettes und der Muskeln berücksichtigen. So zwingt ie Beschäftigung mit den äußeren Formen dazu, die wesentlichen Züge es Aufbaues zu erfassen und klar zu formulieren, was auch für die richge Auffassung der mechanischen Beziehungen von Wert ist. Deshalb rften die folgenden Bemerkungen über die Plastik des Arms und der llbogengegend nicht überflüssig erscheinen.

Aus dem Giebel des zweiflügligen Schultermassivs geht nach unten er freie Arm hervor. Die beiden Längsmuskelgruppen des Vorderarms egen sich am Humerus einigermaßen vorn und hinten gegenüber und ewirken, daß der Oberarm von innen und außen her abgeplattet erheint; doch überragen sie beide den Humerus nach innen und schließen ich innen an ihm mehr oder weniger eng zusammen (s. unsere Darellung bei den Muskeln der Schulter). Nun verbreitert sich aber der umerusschaft gegen das untere Ende hin ziemlich rasch nach beiden eiten und ladet in die Epikondylen aus, zu beiden Seiten des unteren elenkkörpers, während die beiden Muskelgruppen des Oberarms sich rn und hinten am Gelenk verschmälern, um sich nahe jenseits desselben am Vorderarmskelett anzuheften. So tritt der Humerus jederits zwischen ihnen, und zwar früher an der lateralen Seite, später und lötzlicher an der medialen Seite zutage. Hier greift nun die Muskulatur es Vorderarmes an den Seiten des Gelenkes zu den Epikondylen empor nd reicht an der lateralen Seite noch höher am Humerus hinauf.

Vom Ellbogen an ist das Armskelett flächenhaft verbreitert und urch zwei Elemente, den Radius und die Ulna und durch die Membrana nterossea vertreten. Zugleich sondert sich die Muskulatur deutlicher n eine dorsale und volare (ursprünglich ventrale) Schicht. (Erstere ird vom Nervus radialis, letztere vom Medianus und Ulnaris versorgt, elche Nerven schon an der Achselhöhle dorsalwärts und volarwärts useinanderzutreten beginnen, um von der Innen- und Ulnarseite her as Armskelett zwischen sich zu fassen.)

Betrachtet man bei gestrecktem Arm und parallel gestellten Vorderarmknochen die Lage der letzteren zum Humerus, so erkennt man, daß sie nicht in einer durch die Ginglymusachse gelegenen Ebene nebeneinander liegen, sondern daß die Längslinie des Ulnaschaftes nach hinten und innen von derjenigen des Radius gelegen ist und hinter der Ginglymusachse durchgeht. Es wird nämlich die direkte Fortsetzung des Mittelstückes der Ulna am oberen Ende durch das Olekranon gebildet und nur dadurch, daß das obere Ende nach der Beugeseite hin quer zum Processus coronoideus ausgezogen ist, reicht es an der Beugeseite ebenso weit als der Radius nach vorn. Berücksichtigt man also bei der Ulna das Mittelstück und als seine direkte Fortsetzung

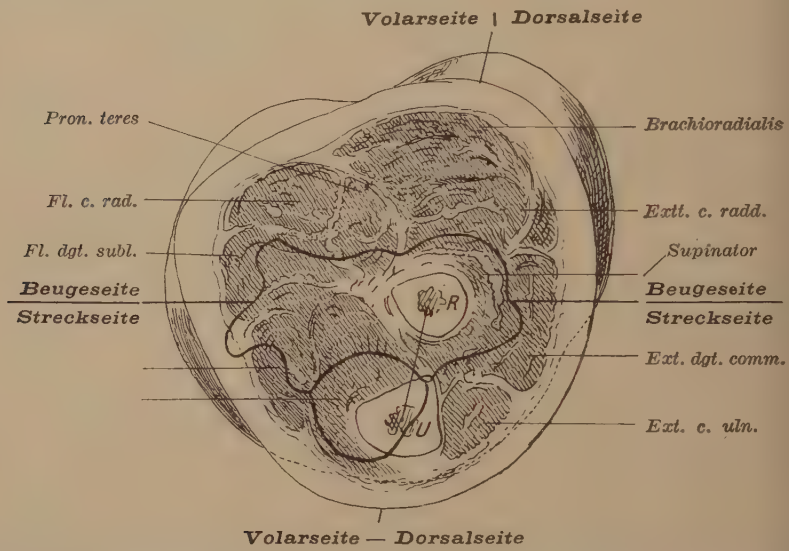


Fig. 113. Querschnitt durch den Vorderarm, einige Zentimeter unterhalb der Epikondylen. Obere Schnittfläche. Das Querprofil des Humerusendes ist auf die Schnittfläche projiziert.

das Olekranon, so stimmt die Skelettebene des Vorderarms welche die dorsale und volare Seite des Vorderarms scheidet mit der Ginglymusachse, welche am Ellbogengelenk Beuge- und Streckseite scheidet und durch beide Epikondylen geht nicht überein, sondern wird von derselben schräg geschnitten Der Epicondylus lateralis kommt etwas an die Dorsalseite, der Epicondylus medialis aber deutlich an die Volarseite zu liegen (Fig. 13). Ersterer ist ein dorsaler Epicondylus und dient dorsalen Muskeln des Vorderarms zum Ursprung; letzterer ist ein volarer Epicondylus, an welchem nur volare Muskeln des Vorderarms entspringen. Der Radius liegt am Ellbogen lateral und mehr nach der Beugeseite hin; die Ulna aber — wenn wi

vom Processus coronoides absehen — medial und nach der Streckseite hin.

Indem die radialen dorsalen Muskeln des Vorderarmes über den Epicondylus lateralis am Humerus proximalwärts weit hinaufgreifen, schieben sie sich bei den Beugestellungen stärker nach der Beugeseite vor und kommen sekundär (den N. radialis mit sich nehmend) sogar über die Skelettebene des Vorderarmes hinaus an die volare Seite zu liegen. (Der Nervus medianus aber und der Nervus ulnaris, welche den Epicondylus medialis zwischen sich fassen, sind beide von Haus aus volare Nerven.)

Während an der Mitte des Oberarmes die Bicepsgruppe und der Triceps das Skelett fast ganz ringsum zudecken, und am Vorderarm das Skelett zunächst ebenfalls bis an einen schmalen hinteren Streifen von den Muskeln zugedeckt ist, schieben sich, wie gesagt, am Ellbogengelenk und unmittelbar oberhalb zwischen die vorderen und hinteren Oberarmmuskeln die volaren und dorsalen Vorderarmmuskeln ein. Die volaren Vorderarmmuskeln erstrecken sich im allgemeinen über den Epicondylus medialis nicht hinauf, weil die Oberarmmuskeln den Humerusschaft nach innen überragen und sich hier bis nahe zum Gelenk hinab zusammenschließen. Die laterale Randkante des Humerus aber ist höher hinauf frei zum Ansatz der radialen Gruppe der dorsalen Vorderarmmuskeln. Während nun weiter abwärts gegen die Hand hin auch an dem mit Weichteilen bekleideten Vorderarm deutlich eine dorsale und eine volare Breitseite und eine radiale und ulnare Schmalseite hervortreten, ist der Querschnitt des Vorderarmes nahe dem Ellbogengelenk mehr dreiseitig und lassen sich hier drei Seitenflächen unterscheiden, eine dorsale und zwei volare. Indem nämlich die oberflächlichen volaren Vorderarmmuskeln sich am Processus coronoides ulnae und an dem medialen Epicondylus ansetzen und durch diese Teile aus der schräg zur Humerusrolle gestellten Skelettebene des Vorderarmes gleichsam herausgehoben sind, bekommt die Volarseite des Vorderarmes zwei Facetten, eine direkt nach vorn gewendete, welche der Ellenbeuge entspricht und zwischen den oberflächlichen volaren und den radialen dorsalen Muskeln mehr oder weniger zur Ellengrube einsinkt, und eine nach innen gewendete, welche rückwärts bis zum Olekranon und zur hinteren Kante der Ulna reicht. Letztere, zwischen ihr und der dorsalen Facette gelegen, verbreitert sich oben zur dreieckigen hinteren Fläche des Olekranon.

Der Triceps endet am Olekranon; die Bicepsgruppe aber mit dem tiefen Brachialis am Proc. coronoides ulnae und mit dem Lacertus fibrosus ulnarerseits in der Faszie des Vorderarms und nur mit der tiefen Endsehne des Biceps am Radius. Vom Skelett sind in der Gelenkgegend 3 Stellen durch Betastung nachweisbar; hinten das Olekranon, an welches sich die in der ganzen Länge des Vorderarmes von Muskeln nicht bedeckte hintere Kante der Ulna anschließt, innen der Epicondylus medialis, endlich außen die laterale Kante des Humerus, die sich leicht nach vorne abbiegend und wenig stärker vorspringend zum Epicondylus lateralis fortsetzt; darauf folgt distal eine Einsenkung und jenseits derselben der laterale quere Rand des

Radiusköpfchens, den man bei Pronation und Supination unter der Haut sich hin- und herdrehen fühlt. Die radiale Gruppe der dorsalen Vorderarmmuskeln liegt nach vorn (beugeseitenwärts) von dieser Skelettlinie. Sie drückt sich bei der Streckung auf dieselbe nieder und quillt über sie nach außen vor, so daß der Skelettlinie entsprechend eine tiefe Rinne oder ein Grübchen in der Haut entsteht. Im übrigen ist zwischen Epicondylus internus und Olekranon die Gelenkkapsel durch eine relativ dünne Muskelschicht des Anconaeus quartus zugedeckt; in der Rinne aber zwischen Epicondylus medialis und Olekranon liegt auf der Kapsel der Nervus ulnaris und oberflächlich davon steht die Ursprungssehne des M. ulnaris internus mit der Oberarmfaszie in Zusammenhang.

α) Das Ellbogengelenk und die Flexions-Extensionsbewegung.

1. Erste Orientierung über das Ellbogengelenk und die in ihm möglichen Bewegungen.

Im Ellbogengelenk stoßen drei Skelettstücke, Humerus, Ulna und Radius zusammen. Eine einzige Gelenkkapsel umschließt die einheitliche trennende Gelenkspalte. Anatomisch handelt es sich also um ein einziges „zusammengesetztes" Gelenk. In demselben sind im Sinn der Maschinentechnik drei Elemente wechselseitig (dreimal) paarweise miteinander verbunden und in gleitenden Kontakt gebracht. Wir können den Humeroulnar-, den Humeroradial- und den Radioulnarkontakt unterscheiden. Manche Autoren aber sprechen geradezu von drei verschiedenen Gelenken, dem Humeroulnargelenk, dem Humeroradialgelenk und dem (oberen) Radioulnargelenk. Bei einer solchen Bezeichnungsweise geht der ursprüngliche klare und scharfe anatomische Begriff „Gelenk" vollständig verloren.

Vom funktionellen Gesichtspunkte aus muß man betonen, daß im Ellbogengelenk in zwei Gelenkspalten, die eine Strecke weit zusammenfallen, zwei verschiedene Bewegungen vor sich gehen, 1. die Beugung und Streckung des Vorderarmes gegenüber dem Oberarm und eine quer zum Arm verlaufende Achse, 2. die Pronations- und Supinationsbewegung zwischen dem Radius (mit der Hand) einerseits, der Ulna und dem Humerus andererseits um eine fast longitudinal im Vorderarm verlaufende Achse.

Beugung und Streckung.

Die Hauptbewegung, welche in erster Linie den Charakter des Gelenkes bestimmt, ist die Beuge- und Streckbewegung. Die Beugung des gestreckten Armes ist nur nach der einen Seite des Gelenkes hin möglich und ist im wesentlichen auf eine bestimmte durch das Gelenk und den Humerus gehende Ebene beschränkt. In dieser Ebene aber läßt sich eine Beugung von ca. 140° beim Lebenden ausführen. (Genauere Angaben folgen weiter unten.) Da das Ellbogengelenk beim Menschen

n der Mitte liegt zwischen Hand- und Schultergelenk, so gestattet es, lie Hand aus Armdistanz bis nahe an die Schulter heranzuführen, wobei las Ellbogengelenk nach hinten oder nach der Seite zu ausweicht. Bei ler Beugung und Streckung bewegen sich Radius und Ulna miteinander gegenüber dem Humerus. Mit Rücksicht auf diese Bewegung, bei welcher die Drehungsachse annähernd quer durch das Ende des Humerus geht, muß die distale Gelenkfläche eine Rotationsfläche mit distalwärts gerichteter Konvexität sein. In der Tat entsprechen die überknorpelte Fläche der Rolle und die nach außen angeschlossene Fläche der Eminentia capitata des Humerus in erster Annäherung, wenigstens eine Strecke weit, einer Rotationsfläche, welche man sich erzeugt denken kann durch Rotation eines Profils abcde von nebengezeichneter Form (Fig. 114), um eine in der gleichen Ebene mit diesem Profil quer zum Humerus stehende Achse. Das laterale Stück ab des Profils ist ein Kreisbogen, der seinen Mittelpunkt in der Achse hat. Er erzeugt eine Kugelfläche (Eminentia capitata humeri, Humerusköpfchen); das umgekehrt gebogene Stück cd erzeugt eine Rollenfläche, das Stück de eine mediale Basisfläche zu dieser Rolle (an ihr gleitet das mediale Seitenband) und das Stück bc den intermediären Streifen zwischen der äußeren Rollenkante und der Eminentia capitata. Die proximalen Endflächen der beiden Vorderarmknochen müssen, wenn kongruentes Gleiten zwischen ihnen und dem Humerus entlang der geschilderten Rotationsfläche stattfinden soll, in gleicher Weise gekrümmt sein, und zusammen einem Abschnitt der gleichen Rotationsfläche entsprechen, was tatsächlich in erster Annäherung der Fall ist. Das benachbarte Ende des Radius (Köpfchen) gleitet mit seiner queren, proximalen Endfläche, welche dellenartig ausgehöhlt ist, an der Kugelfläche der Eminentia capitata des Humerus und mit seinem Rand, allerdings nur in einer einzigen Berührungslinie an dem intermediären Streifen zwischen der Eminentia capitata und der lateralen Rollenkante; die Ulna paßt mit dem Ausschnitt ihrer Endgabel (Incisura sigmoides major) in die Rolle; ihre mittlere First greift als Führungsleiste bis zum Grund der Rolle.

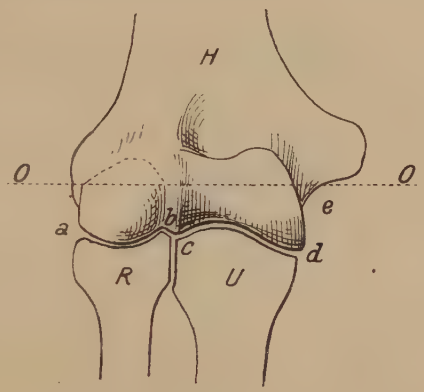


Fig. 114.

Wir nehmen im folgenden an, daß sich der Humerus in der anatomischen Grundstellung befindet; sein innerer Epicondylus ist dann genau nach innen, der äußere Epicondylus genau nach außen gewendet. Die Hauptebene des Rollenabschnittes und der Ulnagabel steht annähernd sagittal. Der eine (hintere) Schenkel der Ulnagabel wird vom Olekranon gebildet, das annähernd die Fortsetzung des Mittelstückes

der Ulna darstellt, der andere, quer zum Mittelstück gerichtete, nach der Beugeseite des Gelenkes vorspringende (vordere) Schenkel wird durch den Hackenfortsatz (Processus coronoides) der Ulna dargestellt. Das Radiusköpfchen liegt direkt nach außen von diesem Fortsatz, so daß seine proximale Endfläche annähernd in die gleiche Vorderarmquerebene wie die Gelenkfläche des Hackenfortsatzes zu liegen kommt. Das Olekranon ragt über diese Querebene proximalwärts hinaus.

2. Besonderheiten des Ellbogenginglymus.

Eine genauere Untersuchung des Humerusgelenkkörpers läßt nun noch folgende Besonderheiten erkennen:

1. Während die Rollenfläche wenigstens in ihrem tiefsten Teil fast rings um die Achse herumgeht, so daß hier der vordere Rand der Gelenkfläche in der Fovea supratrochlearis anterior von dem hinteren Rand in der Fovea supratrochlearis post. nur durch eine relativ dünne Knochenplatte getrennt ist, und ein Bogenwert der Krümmung von 330° vor-

Fig. 115. Schnitt durch das linke Ellbogengelenk.

handen ist, befindet sich die Gelenkfläche für den Radius nur an dem vorderen und unteren Umfang des Humerusgelenkkörpers und besitzt in ihrem größten Krümmungsprofil von hinten nach vorn nur einen Bogenwert von 180°.

Dies entspricht dem Umstand, daß die Gelenkfläche der Ulnagabel die Endgelenkfläche des Radius um den ganzen Betrag des am Olekranon befindlichen Teils überragt und demnach bei der Beugung und Streckung einen entsprechend größeren Teil der Kopfgelenkfläche

bestreichen kann. Der ganze Bogenwert der Krümmung der Ulnagabel beträgt 190°. Die an der Eminentia capitata gleitende Partie der Endfläche des Radiusköpfchens (Delle) entspricht höchstens einem Bogen von 40°. Danach ergibt sich für das Drehgleiten der Pfanne am Kopf eine verfügbare Strecke von 180°—40° = 140° beim Radius, von 330°—190° = 140° bei der Ulna.

2. Die intermediäre Fläche des Humerusgelenkendes zwischen der lateralen Rollenkante und der kugligen Gelenkfläche der Eminentia capitata hat den Charakter einer Rotationsfläche mit Bezug auf die Flexionsextensionsachse nur so weit, als der innerste Rand des Radius-

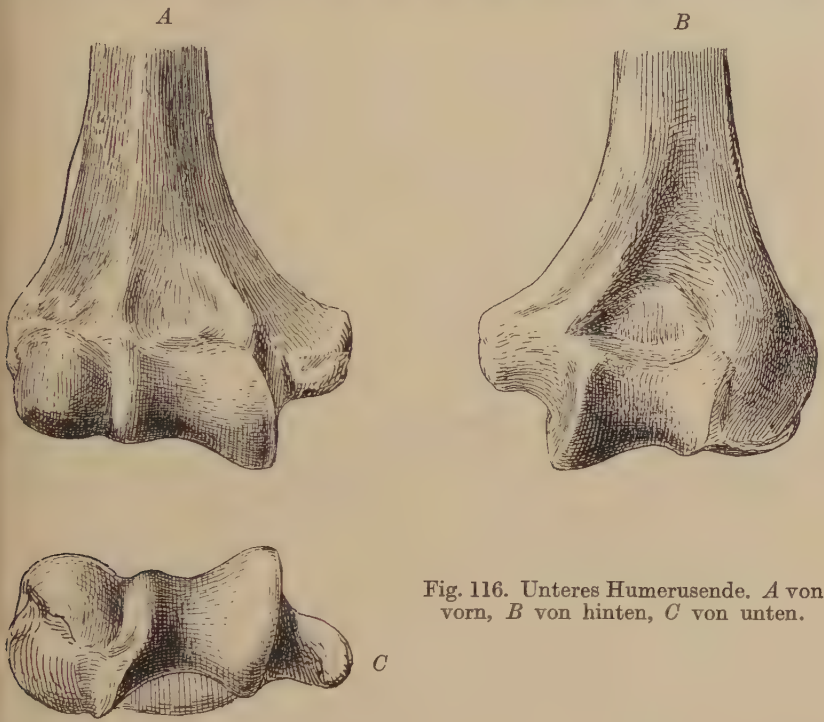


Fig. 116. Unteres Humerusende. *A* von vorn, *B* von hinten, *C* von unten.

köpfchens an ihr gleitet, also in einem Umfang von ca. 140°. Hinter dem Raum, der vom Radiusköpfchen bei extremer Streckstellung eingenommen wird, kann sich die laterale Wange der Rolle nach außen verbreitern unter gleichzeitiger Erhöhung, so daß sie Anschluß an den ganzen hinteren inneren Umfang des Radiusköpfchens in der Streckstellung gewinnt und für denselben bei der Pronation und Supination eine Gleitbahn liefert, welche als Fortsetzung der intermediären Fläche erscheint. Dementsprechend biegt nun der laterale Rand der Rollenfläche beim Aufsteigen an der Hinterseite des Humerusendes zuerst ziemlich plötzlich schräg nach außen ab, um dann etwas weniger schräg gegen den lateralen

Rand der Fossa humeri post. weiter zu verlaufen (siehe Fig. 116 C). Der übrige Teil des lateralen Randes der eigentlichen Rollenfläche liegt natürlich gegenüber dem letztgenannten Stück des Randes weiter medial und ist erheblich niedriger. Er verläuft in einer Ebene, welche zur Mittellinie der Rolle ziemlich senkrecht steht, doch weicht er an der Vorderseite oben — allerdings allmählicher als auf der Rückseite — ebenfalls etwas nach außen ab, ungefähr in der Richtung nach der äußeren Peripherie des Humerusschaftes (seiner Mitte) hin (Fig. 116 A). Ich fasse diese Erscheinung auf als analog dem Verhalten an der Rückseite. Jenseits der Stelle, welche das Radiusköpfchen bei maximaler Beugung einnimmt, kann sich die laterale Wange der Rolle lateralwärts etwas ausbreiten und erhöhen.

3. Die mediale Randkante der Rolle scheint bei oberflächlicher Betrachtung des Humerusendes von vorn oder hinten her wie eine Schraubenlinie zu verlaufen. Genauere Untersuchung zeigt aber, daß sie an der unteren Peripherie am meisten nach innen zu liegt, und sowohl vorn als hinten lateralwärts aufsteigt. Sie verläuft also im ganzen in einer Ebene, welche schräg zur Längsrichtung des Humerus nach außen aufsteigt und die vordere und hintere Mittellinie des Humerusschaftes ziemlich in gleicher Höhe, zirka am untersten Viertelpunkt des Humerus erreicht. Das vordere Ende der medialen Rollenkante weicht aus dieser Ebene zuletzt noch stärker lateralwärts ab.

4. Der in die Fovea supratrochlearis posterior (Fovea olecrani N.) nach oben einsinkende Teil der Rollenfläche ist von dem übrigen Teil oft stärker abgeknickt; es fehlt hier ein eigentlicher Knorpelüberzug. Die genannte Grube verbreitert sich von hier an aufwärts namentlich nach innen hin und schneidet gleichsam in den inneren Hauptbalken gegen den Epicondylus medialis zu tief ein. So ist Raum geschaffen für das Einrücken des oberen Olekranonendes in der Streckstellung (s. u. Schlußrotation).

Schneidet man an einem Bänderpräparat des Ellbogengelenkes die dünnen vorderen und hinteren Abschnitte der Kapsel weg, so daß man einen Einblick auf die Gelenkkörper gewinnt, und führt nun Bewegungen aus, so hat man zunächst den Eindruck, daß diese Bewegungen streng zwangmäßig und anscheinend als Drehung um eine einzige Achse vor sich gehen. Erst eine aufmerksamere Untersuchung zeigt, daß der Charakter der Bewegung sich gegen das Ende der Beugung und noch deutlicher gegen das Ende der Streckung etwas ändert und daß auch je nach der Krafteinwirkung die Bewegung etwas geändert werden kann. Der wichtigste Befund ist aber doch zunächst der, daß der Gelenkkörper des Vorderarms der mittleren First des Humerusgelenkkörpers und den zu beiden Seiten davon gelegenen Rinnen entlang gleitet. Dies wird durch Aufzeichnen der Ganglinien von Punkten des Pfannenrandes noch genauer erwiesen (Figg. 117 u. 118). Das Markieren der Gangspuren von Stelle zu Stelle mit Farbstift oder Nadel ist sicher ein einfacheres und zuverlässigeres Verfahren, als wenn man durch das Olekranon und den Processus coronoides Stifte hindurchtreibt und von denselben Ganglien in die Humerusgelenkfläche einritzen läßt. Berück-

chtigt man nun bloß die mittleren Teile der Führungsrinnen und der ührungsleiste und ergänzt man sich die Rundung des Radiusköpfchens urch Anfügen von Wachs oder Plastilin an einem Trockenpräparat des umerus, so wird man mit Erstaunen bemerken, wie gut die mittleren eile der Krümmung der Humerusgelenkfläche einer Rotationsfläche tsprechen, und wie wenig die mittleren Teile der Führungsleiste und r beiden Rinnen in ihrem Verlauf aus Ebenen senkrecht zu der Verndungslinie ihrer Krümmungsmittelpunkte abweichen. Der von der rvollständigten Rotationsfläche umschlossene Raum ist aber gewisser-

ig. 117. Rechtes Ellbogengelenk in Beugeellung, von hinten eröffnet. Ganglinie ines Punktes der Spitze des Olecranon.

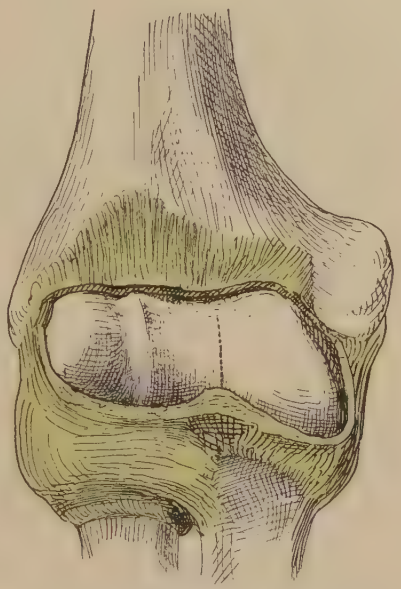


Fig. 118. Rechtes Ellbogengelenk, von vorn eröffnet. Ganglinie eines Punktes der Spitze des Processus coronoides.

naßen in unregelmäßiger Weise durch Skelettmasse ausgefüllt. Die olle sowohl als die Eminentia capitata sind unregelmäßig zugeschnitten. Vo die Rollenwangen sich verbreitern, sind sie natürlich auch höher. Vegen des schrägen Zuschnittes der Rolle an ihrer Innenseite muß die ntere Peripherie der medialen Rollenkante, die am meisten nach innen agt, auch am meisten von der Achse der Rotationsfläche entfernt sein; etztere verläßt den Knochen oberhalb der untersten Stelle der Basis es Epicondylus medialis an ihrer vorderen Peripherie. Die Lage und amentlich die Richtung des Epicondylus medialis variieren übrigens icht unbeträchtlich. An der Außenseite verläßt die Achse der Rotaionsfläche den Knochen ebenfalls nach vorn unten von der stärksten

Vorragung des Epicondylus lateralis, bei deutlicher Absetzung des letzteren von der Seitenfläche des Humerusköpfchens meist vorn an dem unteren Umfang seiner Basis.

Man kann nun auch experimentell, wenigstens für die mittleren Exkursionen der Beugung und Streckung, die Lage der Drehungsachse am Bänderpräparat bestimmen und findet sie in Übereinstimmung mit den gemachten Angaben über den Verlauf der Achse der Rotationsfläche.

Eine längst geübte Methode ist folgende: Man befestigt möglichst in der Achse der Rotationsfläche des konvexen Gelenkkörpers (hier des Humerus) einen biegsamen Metallstab, der beiderseits vorsteht. Der konkave Gelenkkörper (hier die Ulna) wird festgeschraubt, der konvexe (hier der Humerus) unter möglichst genauer Nachahmung der im Leben wirkenden Kräfte bewegt. Die vorstehenden Teile des Metallstabes werden nun so lange gebogen, bis ihre Enden bei der Drehung des Humerus mehr als bei jeder anderen Einstellung in Ruhe bleiben. Durch Visieren verschiedener Ebenen, welche durch die zwei Endpunkte des Metallstabes gehen, ermittelt man die Stellen, wo diese Ebenen sich an der seitlichen Knochenoberfläche schneiden. Sie liegen in der geraden Verbindungslinie der beiden Endpunkte und in der mittleren Drehungsachse. Statt durch Visieren können verschiedene Achsenebenen auch markiert werden, indem man das Präparat bis zur Höhe der Nadelspitzen in gefärbte Flüssigkeit eintaucht und so eine Niveaulinie (Achsenebenenprofil) am konvexen Gelenkkörper gewinnt. Bei anderer Orientierung gewinnt man eine zweite Niveaulinie, welche sich mit der ersten an den Seiten des Gelenkkörpers in zwei Punkten schneidet. Diese zwei Punkte bestimmen die Stellen, wo die Drehungsachse die Knochenoberfläche trifft (Hultkrantz).

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß man zwar von einer Mittellinie oder Achse der Rolle sprechen kann, welche die Krümmungsmittelpunkte der Ränder der Rollenfläche verbindet und auch ungefähr den Krümmungsmittelpunkt der Gelenkfläche der Eminentia capitata trifft, daß aber verschieden gerichtete durch diese Achse gehende Ebenen die Rollenoberfläche und die Gelenkfläche des Humerusköpfchens in recht verschieden gestalteten Profilen schneiden müssen. Fig. 119 zeigt ein vorderstes, ein unterstes und ein hinterstes derartiges Profil.

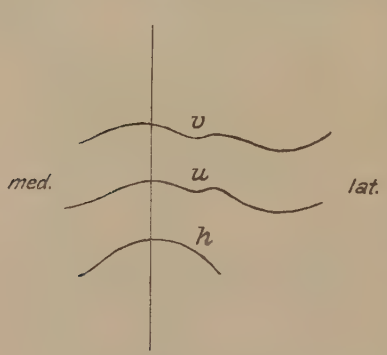


Fig. 119.

Aus dem unregelmäßigen Zuschnitt des Humerusgelenkkörpers folgt ferner, daß der Kontakt der Pfanne mit dem Gelenkkopf bei den verschiedenen Stellungen nicht überall in gleicher Weise erhalten bleiben kann, und daß namentlich auch seitliche Verschiebungen der Ränder der Pfanne gegenüber den Rändern der Humerusgelenkfläche stattfinden müssen. Diese Verhältnisse sind ausführlicher von R. Fick in seinem Handbuch besprochen, zum Teil auch schon von früheren Autoren gewürdigt worden. Wir bemerken darüber, ohne allzusehr auf Einzelheiten einzugehen, folgendes:

1. Der Rand des Radiusköpfchens berührt im allgemeinen den intermediären Streifen der Humerusgelenkfläche nur auf eine kurze Strecke,

ır in der Extensionsstellung befindet er sich auf einer längeren Strecke Berührung mit dem auswärts abgebogenen Teil derselben, und ebenso ann am Ende der Beugung die Berührung eine etwas ausgiebigere in (s. o.).

2. Die Delle am Ende des Radiusköpfchens ist flacher gekrümmt s das Humerusköpfchen. Auch hier ist meist der Kontakt auf einen il der Delle beschränkt (der aber nicht immer genau der Mitte entricht, indem z. B. am Ende der Streckung das Radiusköpfchen von r Ulna etwas abgedrängt wird). Indem das Humerusköpfchen gleichm hinten etwas zugestutzt ist, so tritt über den Rand seiner Gelenkiche das Radiusköpfchen bei der Streckstellung stärker nach hinten raus.

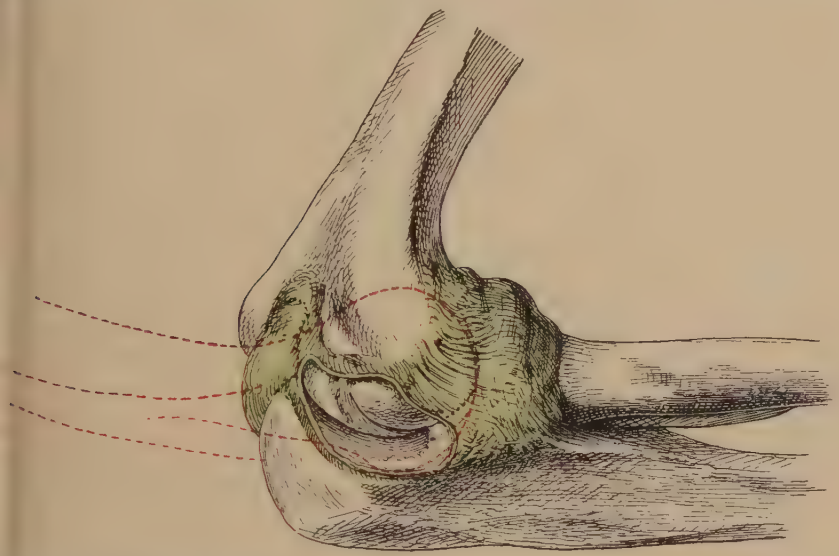


Fig. 120. Rechtes Ellbogengelenk von außen in Beugestellung, an einer Stelle eröffnet. Die roten Linien zeigen die Lage des Humerus in der Streckstellung.

3. Weil sich die äußere Wange der Humerusrolle hinten ziemlich plötzlich nach außen verbreitert und erhöht, kann in der Streckstellung die laterale Gelenkfacette des Olekranon von ihr vollständig gedeckt und mit ihr in gutem Kontakt sein. Bei der Beugung aber muß dieselbe über den nach innen zurücktretenden Teil des lateralen Rollenrandes, der die „Führungsleiste" für den Einschnitt zwischen Processus coronoides ulnae und Radiusköpfchen bildet, nach außen vortreten und bloßliegen (Fig. 120). Es schiebt sich hier ein Synovialfortsatz eine Strecke weit in, außerdem legt sich die Kapsel in die neben dem Olekranon auftretende Rinne.

4. Am medialen Rand der Rolle schiebt sich wegen des schrägen

Zuschnittes bei der Streckung das Olekranon mehr oder weniger (s. u
über die hintere Rollenkante nach innen vor, vorn aber ragt umgekehr
die innere Wange der Humerusrolle über den Innenrand des Processu
coronoides nach innen hinaus. Bei der Beugung fallen die mediale
Ränder der Rolle und der Ulnagabel mehr und mehr zusammen. Schlieſ
lich überragt aber der Rand des Processus coronoides die medial
Rollenkante etwas nach innen.

5. Das Hauptprofil des Humerusköpfchens liegt vorn etwas weite
von der Krümmungsachse der benachbarten Führungsrinne und Füh
rungsleiste entfernt als unten. Damit möchte es zusammenhängen, da

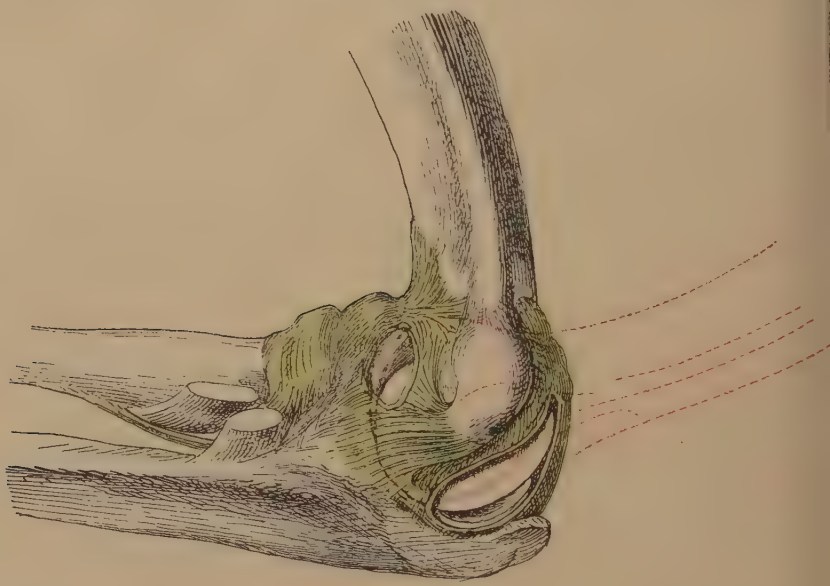


Fig. 121. Rechtes Ellbogengelenk von innen in Beugestellung, an 2 Stellen eröffnet
Die roten Linien zeigen die Lage des Humerus in der Streckstellung.

das Radiusköpfchen bei der Streckung drängt, etwas distalwärts gezoge
und durch das laterale Seitenband von der Ulna etwas abgezogen wird
Nach R. Fick wäre der Krümmungsradius dieses Profils unten, nah
dem hinteren Ende am größten. Dies ist aber offenbar kein typische
Verhalten.

Daß in den verschiedenen Gelenkstellungen bald hier, bald dor
Randteile der humeralen oder antibrachialen Gelenkflächen entblöß
werden, hängt wesentlich mit dem unregelmäßigen Zuschnitt der Gelenk
körper zusammen. Dieser ist auch in erster Linie schuld daran, daſ
die vordere und hintere Hälfte der Humerusgelenkfläche so wenig zu
einander symmetrisch sind, und daß sowohl bei der Betrachtung vo
vorn als von hinten die Fläche der Humerusrolle das Aussehen eine

Schraubenfläche darbietet. In Wirklichkeit weicht der Charakter der Humerusgelenkfläche viel weniger von demjenigen einer wahren Rotationsfläche ab, als man im ersten Augenblick glauben möchte. Dies gilt vor allem für die mittleren Teile der Gelenkfläche, in welchen sich ziemlich gut ein System von Kreislinien legen läßt, welche ihre Mittelpunkte in der gleichen Geraden haben und mit ihren Ebenen zu letzterer senkrecht stehen (mittlerer Teil der lateralen Rollenwange und Rinnen zu beiden Seiten). In mittleren Exkursionen folgen die hier anstoßenden Ulnapunkte ziemlich genau solchen Kreislinien. Erst eine noch genauere Untersuchung erweist, daß es sich doch auch in den mittleren Exkursionen nicht um eine vollkommen genaue, reine Drehbewegung, um eine zum Humerus und zur Ulna feststehende Achse handelt, und daß kleine Abweichungen von dem Verlauf einer einheitlichen Rotationsfläche auch an diesen mittleren Teilen der Humerusgelenkfläche vorhanden sind. Wir werden hierauf weiter unten näher eingehen.

3. Kapsel und Bänder des Ellbogengelenkes.

Im Hinblick auf den Ginglymuscharakter des Ellbogengelenkes erklärt es sich, daß starke kollaterale Bänder vorhanden sind, welche am Humerus ungefähr da entspringen, wo die Flexions-Extensionsachse seine Oberfläche schneidet (an der unteren Peripherie der Epikondylen) und sich fächerförmig ausbreiten, um sich an den Vorderarmknochen innen und außen, möglichst nahe an den Rändern der Pfanne anzuheften. Ein solches Seitenband ist an der medialen Seite des Gelenkes zwischen Humerus und Ulna (medialer Pfannenrand) ausgespannt. Das laterale Seitenband heftet sich nicht am Radius fest, sondern geht in zwei Schenkel gespalten vorn und hinten an ihm, und zwar unten an der größten Endausladung des Köpfchens vorbei zur Ulna, um sich hier am vorderen und hinteren Rande des Sinus lunatus festzuheften. Der Radius ist also gleichsam durch einen Schlitz im äußeren Seitenband hindurchgesteckt. Der Winkel zwischen den beiden auseinanderweichenden Bandschenkeln ist durch bogenförmige Fasern ausgefüllt, welche von dem einen Schenkel in den anderen laufen, mit beiden verwebt und mit ihnen an der Ulna angeheftet sind.

Es entsteht auf diese Weise ein Ringband, welches von der Ulna aus den sich verschmälernden Teil des Radiusköpfchens umgreift und zusammen mit der Ulna (Incisura sigmoides minor) eine Zwinge bildet, in welcher der Radius sich wie ein Zapfen dreht. Der ungespaltene Teil des Seitenbandes verbindet das Ringband mit dem Humerus.

Die Längsdrehung des Radius macht die Abspaltung seines oberen Endes von dem straffen gespannten Teil der lateralen Kapselwand notwendig. Zum Abschluß der Gelenkhöhle unter dem Ringband ist eine Anheftung der Gelenkkapsel ringsum am Radius notwendig. Dieselbe kann aber natürlich erst unterhalb der engen Fassung des Radius durch das Seiten- und Ringband und unterhalb des Randes der seitlichen Ulnagelenkfläche stattfinden und kann nur durch Vermittlung einer dünnen torquierbaren Membran geschehen.

Am Ursprung der fächerförmigen Seitenbänder, an der unteren Peripherie der Epikondylen drängen sich ihre Fasern von vorn und hinten her zusammen. So entsteht eine seitlich vorspringende Leiste. Trotzdem fällt die Anheftung des Bandes am Humerus resp. die Stelle seiner stärksten Biegung bei der Beugung und Streckung nicht genau mit dem Austrittspunkt der Achse an der Knochenoberfläche zusammen. Es müssen deshalb bei der Streckung die vorderen, bei der Beugung die hinteren Fasern der beiden Bänder stärker gespannt werden und hemmend wirken.

Um die Seitenbänder präparatorisch darzustellen, müssen die seitlich auf das Gelenk hinaufgreifenden Muskeln des Vorderarms mit den ihrem Zuge entsprechenden sehnigen Ursprungsteilen möglichst genau von den Seitenbändern gelöst werden. Sie verwachsen ja mit denselben in der ganzen Länge und es bleibt hier (abgesehen von der Membrana sacciformis am Radius) kein dünner faltbarer Teil der Kapsel unter ihnen frei, ganz im Gegensatz zu dem Verhalten der Kapsel unter dem M. brachialis an der vorderen und unter dem M. triceps an der hinteren Seite des Gelenkes.

Die Seitenbänder bilden die seitlichen Wangen des Scharniergelenkes und sind von besonderer Bedeutung durch den Widerstand, den sie der direkten Abhebung der Ulna vom Humerus an ihrer Seite entgegensetzen. Damit verhindern sie, zusammen mit dem Druckwiderstand an der entgegengesetzten Seite vor allem an der Ulna die seitliche Ablenkung gegenüber dem Humerus. Hierbei ist ausdrücklich zu bemerken, daß gegenüber der Ablenkung nach außen an der radialen Seite weniger der Druckwiderstand zwischen Radiusköpfchen und Humerus als vielmehr der Widerstand in Betracht kommt, welchen die radiale Facette der Ulnagabel (namentlich des Processus coronoides) an der lateralen Gelenkwange der Trochlea findet, indem ja die Möglichkeit einer gewissen Längsverschiebung zwischen Radius und Ulna vorhanden ist. Bei Ablenkung der Ulna nach innen wird aus dem gleichen Grunde der Radius auch nicht sofort mitgenommen und spannt sich das äußere Seitenband nicht so rasch, als es der Fall sein müßte, wenn der Radius und das Lig. anulare radii eine starre Fortsetzung der Ulna darstellen würden. Der Hebelarm, an welchem Zug- und Druckwiderstand wirken, entspricht hier also nicht der ganzen Breite des Gelenkes, sondern nur der Breite der Ulna. Erst wenn die Längsverschiebung zwischen Ulna und Radius gehemmt ist, kommt die ganze Breite von Radius und Ulna als Hebelarm der Widerstandskräfte gegen seitliche Ablenkung in Betracht.

Wäre die Gelenkfläche ein Zylindermantel, so würde der Widerstand der Seitenbänder gegen seitliche Abscherung im Gelenk im ersten Augenblick der Verschiebung gering sein und nur allmählich anwachsen. Infolge der Rinnen und Firsten der Gelenkflächen können die Seitenbänder die seitliche Ablenkung im Gelenk schon in den ersten Anfängen hemmen, indem eine solche ja nicht ohne Abhebung der Gelenkkörper voneinander möglich ist. Die Gelenkspalte, welche das obere Ende des Radius rings umgibt und so auch zwischen Radius und Ulna eindringt,

kommuniziert oben mit der Hauptgelenkspalte, welche um das Humerusende herumgeht. Natürlich müssen auch die Seitenflächen des Humerusgelenkkörpers von der seitlichen Kapselwand (Seitenbändern) abgespalten sein. Innen dringt eine Nebenspalte an der Seite der Ulna eine kleine Strecke weit bis zum Ansatz des inneren Seitenbandes nach unten; vorn und hinten greift die Gelenkspalte über die Ränder der Humerusgelenkfläche hinüber, und zwar hinten bis in das weiche Gewebe, welches die Fovea supratrochlearis auspolstert, zwischen dem Olekranon und denjenigen Teilen, welche auch bei stärkster Streckung von ihm nicht aus der Grube verdrängt werden, vorn in ähnlicher Weise in die Fovea supratrochlearis anterior und in die Kehle über der Eminentia capitata.

Fig. 122. Gebeugtes rechtes Ellbogengelenk von hinten.

Fig. 123. Gestrecktes rechtes Ellbogengelenk von vorn.

Dringt einer der Endschenkel der Ulnagabel in die Grube seiner Seite ein, so wird das Gewebe im frei bleibenden Raum der Grube (Kapselansatz) am ehesten in den Teilen gepreßt und lokal gespannt, welche dem Humerus entlang zum Grund der Grube und nach dem Gelenkkörper zurücklaufen. Bei der entgegengesetzten Extremstellung wird das genannte Gewebe wesentlich oberflächlich gespannt in Lagen, welche über die Grube hinüberbrücken und sich an den vorragenden Rändern derselben ansetzen. Natürlich kann unter solchen Umständen von einem

scharfen, lineären Ansatz der Kapsel im Umfang oder Grund dieser Grube nicht die Rede sein. Zwischen dem Niveau der oberflächlichen Fasern und ihres Ansatzes am Rand der Gelenkgruben und den Flächen, bis zu welchen sich die Ränder des Processus coronoides, Radiusköpfchens und Olekranon bei der Beugung resp. Streckung heranschieben, bleibt gleichsam ein keilförmiger Raum, der durch weiche Teile des Kapselansatzes und allfällige Fibrae recurrentes eingenommen ist (s. I. Bd. d. Lehrb., S. 106 u. 107).

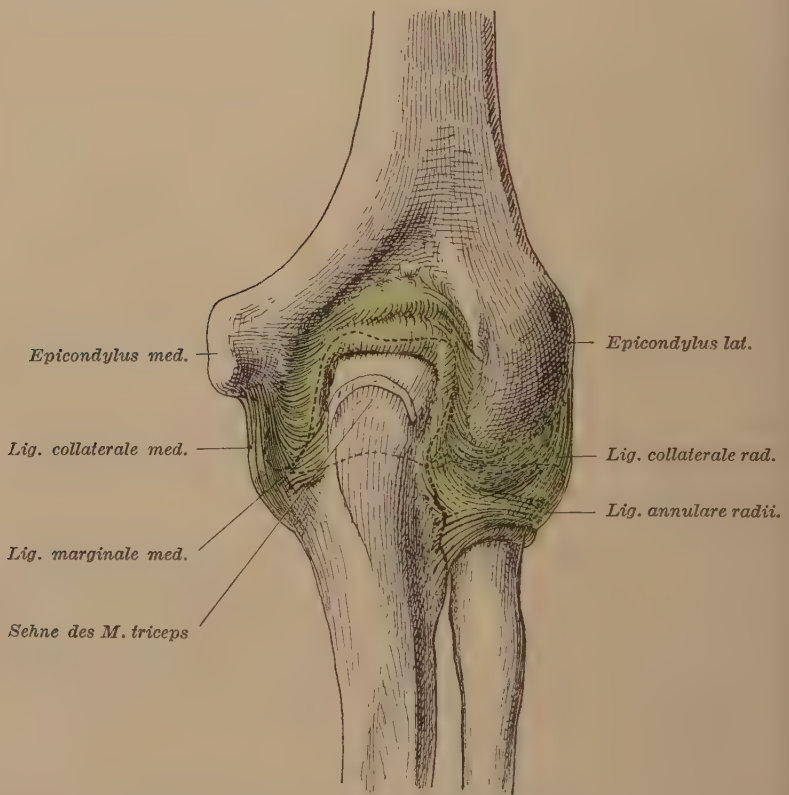


Fig. 124. Gestrecktes rechtes Ellbogengelenk von hinten.

In der vorderen Kapselwand spannen sich bei stärkster Streckung gerade, longitudinale Faserzüge, die zwischen den Randkanten der Rolle eingesenkt dahinziehen. Indem aber dabei die vordere Kapselwand durch die vorspringenden Rollenränder und die Wölbung der Eminentia capitata vorgetrieben wird, spannt sich die Kapsel auch der Quere nach resp. in bogenförmigen und schrägen Linien und kann in diesen Linien ebenfalls zu mehr oder weniger differenzierten Faserzügen verstärkt sein. Ziemlich konstant sind schräge Faserzüge, welche vor

der Eminentia capitata vorbei zum inneren Randbalken neben der Fovea supratrochlearis anterior schräg medialwärts aufsteigen (Fig. 122).

In der hinteren Kapselwand läßt sich ebenfalls eine stärkere oberflächliche Längsfaserung unterscheiden, welche zwischen die Rollenränder einsinkt und am oberen Rand des Grundes der Fovea supratrochlearis entspringt, und eine Schrägfaserung, welche vom Olekranon gegen den Rücken der Randbalken und über die vortretenden Rollenränder gegen die Epikondylen hinzieht. Zwischen den Schrägfasern spannen sich oberhalb des Olekranon meist auch oberflächliche quere Bogenfasern aus (Fig. 123). Immerhin sind die oberflächlichen Faserzüge der hinteren Kapselwand im einzelnen ziemlich variabel. Zwischen dem Processus coronoides und dem Olekranon zeigt sich der Knorpelüberzug der Ulna in einem quer über die Mitte der Rollengabel hinüberlaufenden Streifen unterbrochen und durch Bindegewebe ersetzt. Der mediale Pfannenrand hat hier eine scharfe Einziehung. Im anschließenden Teil der Kapsel kann eine Art Faserbrücke entwickelt sein, die an der Innenseite der Trochlea vorbei vom vorderen zum hinteren Rand des Einschnittes geht (Fig. 124). Sie wird bei der Streckung durch das Einrücken des am meisten nach innen ragenden Teiles der medialen Rollenkante einwärts geschoben und gespannt (Lig. marginale mediale).

4. Die Frage nach dem Schraubengelenkcharakter des Ellbogengelenkes.

Ist das Ellbogengelenk ein Schraubengelenk? Solches ist vielfach behauptet worden, zuerst wohl von C. Langer und dann von G. Meißner (1856). G. Meißner suchte die Schraubennatur des Gelenkes aus den Spurlinien zu beweisen, welche er mittels eingeschlagener Stifte erzeugte.

Das rechte Ellbogengelenk soll nach ihm eine rechts-, das linke eine linksgewundene Schraube sein mit einer Ganghöhe von 4 mm. Braune und Kyrklund haben dem widersprochen. Sie wiesen darauf hin, daß die natürliche Gangrinne der Trochlea und daß die künstlich durch eingetriebene Stifte erzeugten Ganglinien nicht wirklichen gleichsinnig verlaufenden Schraubenlinien entsprechen. Wir haben dies bestätigt gefunden (s. o.).

Man darf sich nicht durch den Verlauf der Randkanten der Rolle täuschen lassen, welche allerdings schräg, aber vorn und hinten nach der gleichen Seite hin, nämlich nach oben und außen schräg verlaufen (die laterale Kante in unregelmäßiger seitlicher Biegung). Hultkrantz fand bei 13 Armen, die in einer im folgenden noch genauer zu besprechenden Weise untersucht wurden, dreimal keine translatorische Verschiebung der Ulna in der Richtung der mittleren Beugungsachse. In 6 Fällen fand er eine Verschiebung nach außen bei der Beugung, in 4 Fällen eine Verschiebung nach innen. Die Verschiebung betrug $^1/_2$ bis 2 mm. Die Verschiebung parallel der Achse ist also, wenn vorhanden, nur gering und nicht typisch. Das Ellbogengelenk darf wirklich nicht als ein Schraubengelenk angesehen werden.

In denjenigen Fällen, in denen wirklich während eines kleineren oder größeren Teiles der Flexions-Extensionsbewegung eine kleine Verschiebung des einen Gelenkkörpers gegenüber dem anderen parallel der Achse (Schraubenbewegung) vorhanden ist, nimmt die Ulna an jeder Stelle ihrer Länge nur immer mit dem gleichen kleinen Betrag an der seitlichen Verschiebung teil, so daß die hierdurch dem unteren Ende der Ulna erteilte Seitenbewegung gar nicht in Betracht kommt gegenüber seitlichen Exkursionen, welche durch selbst ganz kleine seitliche Ablenkungen (Seitendrehungen) der Ulna im Ellbogengelenk zustande gebracht werden.

5. Genauere Bestimmung der zwischen Humerus und Ulna möglichen Bewegungen.

Kann man nun auch in erster Annäherung die Bewegung zwischen Ulna und Humerus als eine Drehung um eine zum Humerus feststehende Achse betrachten, so zeigt doch eine aufmerksame Untersuchung, daß solches nicht vollkommen genau ist. Die am Bänderpräparat erhaltenen Spurlinien zeigen an ihren Enden gewisse Abweichungen vom Verlauf von Kreislinien, die Rollenfläche weicht oft selbst in ihrem mittleren tiefsten Teil gegen die oberen Ränder hin vom Verlauf der regelrecht fortgesetzten Rotationsfläche etwas ab. Verschiedene Autoren haben erkannt, und es ist in der Tat auch nicht unschwer zu konstatieren, daß am Bänderpräparat, auch bei anscheinend typischem und zwangsmäßigem Ablauf der Beuge- und Streckbewegung, die Richtung der Drehung namentlich gegen das Ende der Bewegung hin sich ändert, resp. daß sich jetzt mit der Drehung um die Drehungsachse der mittleren Exkursionen eine bestimmte Nebendrehung verbindet. Die resultierende Drehungsachse würde danach im Verlaufe der Flexions-Extensionsbewegung ihre Lage und Richtung in typischer Weise verändern. Es hat sich aber auch gezeigt, daß namentlich in den Endstellungen die mögliche Bewegung keine vollkommen zwangmäßige ist, sondern je nach Umständen in etwas verschiedener Weise ausgeführt werden kann.

Eine genaue Untersuchung dieser Verhältnisse bietet ein gewisses, allerdings vorläufig mehr theoretisches Interesse. Man sollte glauben, daß es möglich sein muß, die Abweichungen von der reinen Ginglymusdrehung mit den anatomischen Besonderheiten der Gelenkflächen und Bänder und beides mit Besonderheiten der einwirkenden äußeren Kräfte und der Muskelkräfte in Zusammenhang zu bringen.

1. Nach Braune und Kyrklund (1879) entspricht die Rollenfläche nicht vollkommen einer Rotationsfläche. Vorder- und Rückseite sind in den vergleichbaren Teilen nicht genau symmetrisch zueinander. Zwei Ganglinien, welche von einem durch die Spitze des Olekranon und einem durch den Processus coronoideus getriebenen Stift erzeugt sind, treffen sich zwar unten, bilden aber zusammen nicht eine Kreislinie, sondern einen nach außen offenen stumpfen Winkel. Nach oben fortgesetzt gedacht, würden sie in einem einwärts offenen Winkel zusammentreffen. Soweit ich sehe, ist ein solches Verhalten nicht immer gleich

deutlich ausgesprochen und können die Ganglinien auch ohne schärfere Divergenz ineinander übergehen. Auch ist zu berücksichtigen, daß von den zusammentreffenden Enden der Ganglinien das eine bei stärkster Beugung, das andere bei stärkster Streckung erzeugt wird. Wenn sich diese Enden schneiden, so kann das erklärt werden entweder durch die Annahme einer Längsrotation der Ulna nach innen am Ende der Beugung und einer Längsrotation nach außen am Ende der Streckung, oder durch die Annahme, daß mit dem Ende der Beugung eine Abduktion, mit dem Ende der Streckung eine Abduktion der Ulna verbunden ist (s. u.).

2. O. Fischers Untersuchungen über den Verlauf der Flexions-Extensionsachse. O. Fischer hat versucht (1887), an zwei Gelenkpräparaten die Streck- und Beugebewegung möglichst getreu dem Verhalten beim Lebenden nachzuahmen und hat für die so hergestellte Bewegung die Lage der Drehungsachse für die verschiedenen Phasen der Bewegung in mathematisch einwandfreier Methode bestimmt (s. auch O. Fischer, 1907).

Der Humerus wurde festgestellt, die Ulna durch Fäden bewegt, welche nach Lage und Spannung möglichst dem natürlichen Zuge der Streck- und Beugemuskeln des Ellbogengelenkes beim Lebenden entsprechen. Drei Holznadeln wurden so in die Ulna eingetrieben, daß ihre Spitzen möglichst weit entfernt vom Gelenk und nicht in einer geraden Linie lagen. Für eine Reihe nahe aufeinander folgender Stellungen wurden die drei Koordinaten der Nadelspitzen mit Bezug auf ein zum Humerus festes rechtwinkliges Koordinatensystem bestimmt. Aus den so gewonnenen Daten ließ sich die Lage der Drehungsachse für jede kleine Verschiebung für jede Stellung in sorgfältigster Weise berechnen. Die seitlichen translatorischen Verschiebungen der Ulna konnten vernachlässigt werden.

Mit Hilfe der angegebenen Methode hat O. Fischer an den zwei von verschiedenen Individuen stammenden Präparaten festgestellt, daß und in welcher Weise die Lage der Flexionsachse sich verändert. Die Achse ging stets annähernd durch die Mitte der Humerusrolle, beschrieb aber beim Übergang aus der extremen Streckstellung in die extreme Beugestellung eine annähernd in sich selbst geschlossene, unregelmäßige „allgemeine Kegelfläche". Ein um 20 cm von der Mitte der Rolle nach innen gelegener Punkt der Achse beschrieb die in Fig. 125a und b reproduzierten Kurven, von denen in O. Fischers „Kinematik" nur die ausgezogenen Teile mit den hier angegebenen Bezeichnungen berücksichtigt sind. Der Punkt 0 entspricht der Streckstellung, die Punkte 10, 20 ... 110, 120 entsprechen aufeinanderfolgenden Beugestellungen. Wie R. Fick mitteilt, schlossen die in horizontaler Richtung voneinander am weitesten entfernten Momentanachsen einen Winkel von 10° ein und entsprachen einem Abstand der Achsen von etwas über 2 mm in der Ebene der medialen Rollenkante. Die Schwankung nach oben und unten betrug 4° (Fall I) und 5—7° (Fall II) resp. 1,78 und 1,0—1,4 mm in der Ebene der medialen Rollenkante. Sieht man von den Drehungen am Anfang und Ende der Bewegung ab, so erfolgte an beiden Präparaten die Richtungsänderung der Achse ziemlich

übereinstimmend in der Weise, daß ihr inneres Ende im Anfang der Beugung nach vorn und etwas nach unten ging, in den mittleren Beugestellungen nach vorn oben oder hinten oben emporstieg und bei der weiter gehenden Streckbewegung ziemlich genau horizontal nach hinten in die Nähe der Anfangsstellungen zurückkehrte. Die Gegend der Zahl 4 bezeichnet in beiden Fällen die Lage der mittleren Achse, um welche die Bewegung hätte stattfinden müssen, um die Ulna aus der Anfangslage direkt in die Endlage überzuführen.

Es ist klar, daß sich die Drehungsachse, indem sie ihre Lage im Humerus ändert, auch zugleich gegenüber der Ulna umstellen muß. Sie beschreibt in dem mit der Ulna starr verbunden gedachten Raumsystem eine andere Fläche als im Humerus und seiner gedachten räumlichen Fortsetzung. Wir geben in nebenstehender Fig. 125c in der Kurve

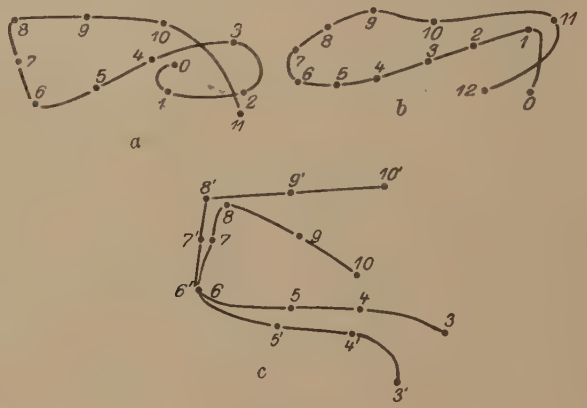


Fig. 125.

3'—10' die durch O. Fischer bestimmte Bahnkurve des 20 cm von der Rollenmitte nach innen entfernten Achsenpunktes, im Raumsystem der Ulna, in der Kurve 3—10 die Bahnkurve des betreffenden Punktes zum Humerus (beide Kurven für das gleiche Präparat I). Die Achsenfläche in der Ulna ist auch wieder eine unregelmäßige allgemeine Kegelfläche. Entsprechend der jeweiligen Lage der instantanen Achse berühren sich die beiden Achsenflächen und Bahnkurven (in nebenstehender Fig. 125c entsprechend einer mittleren Beugestellung im Punkte 6). Sie rollen sich also im Verlaufe der Beugung resp. Streckung aneinander ab (vgl. unsere theoretischen Darlegungen über die Rollbewegung etc. beim Kniegelenk).

Bei unveränderter Lage der Achse würde die Mittellinie der Ulna bei der Beugung einen sehr flachen nach außen offenen Kegelmantel, das Capitulum ulnae würde eine Kreisbahn beschreiben. Nach den Befunden von Fischer aber weicht das Capitulum aus einer solchen Kreisbahn anfänglich mehr und mehr nach außen ab, um später wieder nach innen zu gehen. Genauer gesagt: Statt der reinen Beugung um eine feststehende Achse und der Bewegung des Ulnaköpf-

chens in einer sagittalen Ebene gesellt sich im Beginn mehr und mehr etwas Abduktion und auch ganz wenig Einwärtsrotation hinzu. In mittleren Beugestellungen geschieht die Hebung des Ulnaköpfchens in einer vorn um 10° nach außen abgelenkten Ebene. Trotz der Erhebung über die Horizontale bleibt dann das Ulnaköpfchen zunächst noch außen, indem sich die Drehungsachse zugleich innen hebt; an Stelle der geringen begleitenden Einwärtsrotation tritt nun eine geringe Auswärtsrotation. Zum Schluß aber geht das Ulnaköpfchen ziemlich rasch nach innen und hinten, um nur nach Maßgabe, wie sich die Drehungsachse wieder mehr frontalstellt, mehr und mehr in die reine sagittale Bewegung überzugehen usw.

Bei einer gewissen Übereinstimmung des Verhaltens der Drehungsachse in den mittleren Beugestellungen zeigten die beiden von O. Fischer untersuchten Präparate am Anfang und Ende der Beugebewegung ein auffällig verschiedenes Verhalten, was wohl auf individuelle Verschiedenheiten im Bau des Gelenkes zurückzuführen ist.

Man darf nicht übersehen, daß der Gang der Bewegung an den O. Fischerschen Präparaten nicht einzig durch das Gelenk, sondern auch durch die bestimmte Anordnung der Zugfäden bestimmt war. Diese Anordnung war immerhin eine willkürliche und es fragt sich, ob sie namentlich in den Endlagen den Verhältnissen des Muskelzuges beim Lebenden entsprochen hat. A priori ist anzunehmen, daß die Muskeln und äußeren Kräfte in recht wechselnder Weise auf Stellung und Bewegung im Gelenk einwirken können. Über die Frage, ob in den verschiedenen Stellungen verschiedene Bewegungen und in welchem Umfang sie möglich sind, geben daher die Fischerschen Versuche keine Auskunft. Nach dieser Richtung hin gewähren die Versuche von Hultkrantz besseren Aufschluß.

3. Die Untersuchungen von Hultkrantz. Wie Hultkrantz mit Recht geltend gemacht hat, ist die Koordinatenmethode zu umständlich, um auf eine große Reihe von Präparaten (und bei verschiedenen Arten der Krafteinwirkung) angewendet zu werden, was doch bei der großen individuellen Verschiedenheit wünschenswert wäre. Es verdienen deshalb auch einfachere Methoden der Achsenbestimmung Berücksichtigung, die mit kleinen Fehlern behaftet sind, unter der Voraussetzung, daß sie Unterschiede in der Richtung der Drehungsachse überhaupt erkennen lassen.

Eine solche Methode, die praktisch gute Dienste leistet, beruht auf der Bestimmung der mittleren Flexions-Extensionsachse (s. o.) und der Abweichungen der Bewegung von der Drehung um diese Achse. Man kann mit dem Humerus eine ebene Platte, welche zur mittleren Drehungsachse senkrecht steht, starr verbinden. Ändern bei der Beugung zwei Punkte, welche in der Mittellinie der Ulna oder ihrer Fortsetzung gelegen sind, z. B. die Spitzen zweier in das Olekranon und in das Capitulum ulnae eingetriebener Nadeln, ihre Entfernung von der Platte in gleichem Sinn und gleichviel, so folgt daraus, daß die Drehung wie in einem Schraubengelenk vor sich geht. Ändert sich die Entfernung in ungleicher Weise, so entspricht die Differenz einer ad- oder abduktorischen Drehung nach der inneren oder nach der äußeren Seite der mittleren Achse hin. Für eine bestimmte Beugebewegung läßt sich der Ab- oder Adduktionswinkel berechnen. Ferner kann man

feststellen, ob ein quer in die Ulna eingetriebener Stift seinen Neigungswinkel zur Platte verändert oder nicht. Im ersten Fall ist mit der Beugung eine Ein- oder Auswärtsdrehung der Ulnalinie kombiniert. Aus den drei Drehungswinkeln (der Drehungen um die mittlere Flexionsachse, die Ab-Adduktionsachse und die Längsachse) läßt sich auch die Richtung der Achse der resultierenden Drehung bei der jeweiligen kleinen Beugebewegung bestimmen. Endlich ist es möglich, für irgend eine Stellung zu untersuchen ob je nach der Art der Krafteinwirkung verschiedene Bewegung stattfindet.

Es kann die Platte auch mit der Ulna starr verbunden und dafür der Humerus bewegt werden. Die Schraubenbewegung läßt sich dann in ganz analoger Weise prüfen; ferner die Ab- und Adduktionsbewegung des Humerus und seine Längsrotation. Die betreffenden Drehungsachsen sind andere als bei der Ulna, aber das Resultat bezüglich der resultierenden Achse der Drehung muß dasselbe sein.

Im wesentlichen nach den hier angegebenen Prinzipien hat Hultkrantz die Beuge- und Streckbewegung im Ellbogengelenk genauer untersucht. Er fand vor allem eine große individuelle Verschiedenheit. In den mittleren Phasen der Beugung sind die seitlichen und die längsrotatorischen Bewegungen der Ulna verhältnismäßig gering und betragen nur $1-2^0$. Wenn sich aber die Ulna ihren extremen Lagen nähert, werden dieselben beträchtlich größer und erreichen einen Betrag von $5-10^0$.

6. Schlußrotationen im Ellbogengelenk.

H. v. Meyer hat zuerst angegeben, daß die Bewegung der Ulna zum Humerus am Ende der Beugung und der Streckung nicht eine reine Fortsetzung der Drehung in mittleren Stellungen um die gleiche Achse ist. Vielmehr geselle sich regelmäßig eine bestimmte Längsrotation hinzu, und zwar eine Längsrotation (Schlußrotation) nach innen am Ende der Streckung, eine Schlußrotation nach außen am Ende der Beugung. Namentlich die erstere vollziehe sich ziemlich plötzlich und ruckartig. Die Schlußrotation bei der Streckung ist von H. v. Meyer auf den Einfluß des M. anconaeus zurückgeführt worden. Die Auswärtsrotation am Schluß der Beugung könne vielleicht aus dem vorwiegenden Einfluß des M. brachialis erklärt werden. Auch nach dem Befunde von Braune und Kyrklund (s. o.) über die Ganglinien könnten dem Schluß der Beugung und Streckung Längsrotationen entsprechend der Annahme von H. Meyer zugefügt sein.

Demgegenüber hebt Hultkrantz hervor, daß die Schlußstreckung regelmäßig mit abduktorischer Nebenbewegung der Ulna verbunden ist, während beim Schluß der Beugung bald Ab-, bald Adduktion im Spiele sein kann. Ich möchte glauben, daß sich das Gelenk je nach Gebrauch und Beschäftigung bezüglich des typischen Ganges der Flexion-Extension etwas verschieden gestalten kann. Wenn es sich aber verschiedenen Benutzungsweisen angepaßt hat, wird bei Versuchen an einem und demselben Bänderpräparat das Ergebnis je nach der Art der bewegenden

Kräfte ein verschiedenes sein. Beim Lebenden wird offenbar die letzte Streckaktion nicht immer in der gleichen Weise durchgeführt, indem vor allem der lange Kopf des Triceps nicht immer in der gleichen Weise beteiligt ist. Wenn wesentlich nur die kurzen Köpfe des Triceps angespannt sind, wird die Spitze des Olekranon in der Richtung des Humerusschaftes proximalwärts und etwas nach außen gezogen und an die laterale Wange der Humerusrolle angedrückt, während ihre innerste Facette von der medialen Rollenwange leicht abrückt. Unten dagegen mag durch den Anconaeus (IV) der Processus coronoides gegen den untersten Teil der medialen Wange der Rolle angepreßt werden. Um sie als Stützpunkt wird die Ulna nach innen gehebelt (adduziert). Eine weiter gehende Einwärtsrotation durch den Anconaeus ist durch das Anstoßen der Ulna an den zwei genannten Stellen der Rolle gehemmt. Die letzte Streckbewegung erfolgt in diesem Fall ohne auffällige ruckartige Umstellung als wenig abgeänderte Fortsetzung der vorangehenden Streckaktion. Das Olekranon bewegt sich besser entlang der lateralen hinteren Rollenkante. Ein Stift im Processus coronoides weicht zuletzt nach innen ab.

Wirkt dagegen beim Schluß der Streckaktion der lange Tricepskopf in stärkerem Maße mit, so wird die Spitze des Olekranon an die mediale hintere Rollenwange angedrückt und in ihrem distalen Teile abduziert. Das Olekranon legt sich zum Schluß dem medialen Rande der Fovea supratrochlearis posterior an, womit die Bewegung zum Stehen kommt. Werden nunmehr die kurzen Köpfe des Triceps (mit dem Anconaeus) stärker angespannt, so kann das Olekranon in der hinteren Humerusgrube in ruckartiger Umstellung lateralwärts gezogen und die Streckung noch etwas weiter geführt werden unter Adduktion der distalen Teile der Ulna.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen, bei mehr oder weniger abwärts gerichtetem Humerus und unbelastetem Arm geschieht wohl die Streckbewegung des Ellbogens in der zuerst erläuterten Weise. Bei gehobenem und abduziertem Oberarm dagegen ist auf eine stärkere Mitwirkung des langen Tricepskopfes zu rechnen.

Andererseits ist bei gehobenem und ausgestrecktem Arm der Epicondylus lateralis im allgemeinen nach oben gerichtet, und es wird bei der bloß passiven Feststellung des Ellbogengelenkes in Streckstellung das Olekranon durch die Schwere nach oben gehebelt und an die hintere laterale Wange der Rolle angedrückt sein, wobei der distale Teil der medialen Rollenwange der Ulna als Pivot dient. Die stärkere Entwicklung der inneren Wange der Humerusrolle steht vielleicht mit der starken und häufigen Inanspruchnahme als Stemmpunkt beim Halten eines Gewichtes mit gehobenem, einwärtsrotiertem und annähernd gestrecktem Arm in Zusammenhang. Damit stimmt, daß sie beim Neugeborenen noch wenig ausgeprägt ist und erst später deutlicher hervortritt.

Insofern als nun eine besonders starke Mitwirkung des langen Tricepskopfes am Schluß der Streckung in der Konstruktion des Gelenkes nicht zur Geltung gekommen ist, oder bei den Versuchen am Bänderpräparat nicht nachgeahmt wird, muß der Schluß der Streckung mit

Adduktion der Ulna, der Anfang der Beugung mit Abduktion verbunden sein, wie solches bei den Fischerschen Befunden zutage tritt (von den unregelmäßigen, an beiden Präparaten ganz verschiedenen Umstellungen der Achse in der alleräußersten Streckung sehen wir dabei ab).

In extremer Beugestellung kann ebenfalls, ganz abgesehen von der verschiedenen Disposition der äußeren Kräfte, einzig wegen der Muskeln, die Inanspruchnahme des Gelenkes eine verschiedene sein, je nachdem die beugende Kraft nur durch den Brachialis oder auch durch den Biceps geliefert wird. Bei auswärts und vorwärts gehobenem Oberarm kann die Spannung des Biceps keine so hohe sein wie bei rückwärts geführtem Arm usw.

Wirkt im allgemeinen am Schluß der Beugung der M. brachialis stärker, so würde dabei der Processus coronoides mehr an die laterale Rollenwange angedrückt. Es kann dies unter Umständen mit einer leichten Abduktion der Ulna und vielleicht auch mit etwelcher Auswärtsrotation der Ulna verbunden sein. Die Ganglinie des Olekranonstiftes wird dann aus beiden Gründen zum Schluß etwas nach innen gehen, entsprechend dem Befund von Braune und Kyrklund.

So dürfte es wohl möglich sein, die in verschiedenen Stellungen des Gelenkes vorhandene Freiheit zur Bewegung um verschiedene Achsen, sowie die mehr oder weniger typischen Umstellungen der Achse beim Fortschritt der Beuge- und Streckbewegung wenigstens teilweise als Anpassungen an die wechselnden Bedingungen der Kräfteeinwirkung nachzuweisen.

Aus den Untersuchungen von Hultkrantz und anderen ergibt sich, daß schon in mittleren Streckstellungen, namentlich aber am mehr gestreckten Arm und am Schluß der Streckungen kleine Seitenbewegungen und auch kleine Längsrotationen an der Ulna ausgeführt werden können, während andererseits gegen den Schluß der Beugung solche Nebenbewegungen schon früher eingeschränkt und unmöglich gemacht werden. Aber gerade bezüglich der Ausgiebigkeit der Nebenbewegungen zeigen sich die größten individuellen Verschiedenheiten. Es gibt nämlich Präparate, an welchen sie so gut wie vollständig durch die Hemmungen im Gelenk selbst verhindert sind. Die Beugung und Streckung erfolgt dann vollkommen zwangläufig. Für gewöhnlich ist das nicht der Fall, das Gelenk ist nicht zwangsläufig an und für sich, Zwanglauf, wenn man so sagen darf, entsteht hier erst durch sog. Kraftschluß, d. h. durch Hinzutreten anderer, nicht im Skelett selbst gelegener Kräfte, z. B. der Muskeln oder von Kräften und Widerständen, die nicht vom Oberarm, sondern von der äußeren Umgebung her auf die Ulna einwirken. Ein solcher unechter Zwanglauf kann dann aber je nach der Art und Weise, wie die exartikulären Kräfte einwirken, ein verschiedener sein. Aus Unterschieden in den beim Versuch verwendeten bewegenden Kräften erklären sich teilweise die verschiedenen Angaben der Autoren über die Art, wie sich der Charakter der Bewegung am Schluß der Exkursion ändert. Eine genauere Untersuchung des ganzen Umfanges der möglichen Bewegungen unter Bestimmung der Kräftedisposition liegt zur Zeit noch nicht vor; sie müßte an einem größeren Material angestellt sein.

Bei der Pronation und Supination des Vorderarmes und der Hand können die kleinen seitlichen und längsrotatorischen Nebenbewegungen der Ulna im Ellbogengelenke eine Rolle spielen. Auch müssen sie berücksichtigt werden bei den Verschiebungen, welche Radius und Ulna, abgesehen von der reinen Pronations- und Supinationsbewegung gegeneinander ausführen können. Wir werden diese Verhältnisse weiter unten im Zusammenhang besprechen.

7. Der Kubitalwinkel und die Abbiegung der Gelenkenden nach der Beugeseite.

Der Kubitalwinkel.

Der gestreckte Vorderarm erscheint gegenüber dem Oberarm mehr oder weniger deutlich nach außen abgeknickt. Diese Knickung ist deutlicher ausgeprägt bei supiniertem Vorderarm als bei Pronation desselben; sie ist übrigens individuell etwas verschieden und in einzelnen Fällen in auffälliger Weise verstärkt.

Grundlage und Maß der Abknickung ist darin gegeben, daß die Hauptrichtung resp. die mittlere Längslinie der Ulna und die mittlere Längslinie des Humerus normalerweise einen nach außen offenen, fast gestreckten Winkel miteinander bilden. Dieser Winkel wird gewöhnlich als Abduktionswinkel, von R. Fick als totaler Kubitalwinkel bezeichnet, welchen Ausdruck wir ebenfalls bevorzugen. Dieser Winkel besteht aus zwei Teilen, dem Winkel, welchen die mittlere Längslinie des Humerus und dem Winkel, welchen die mittlere Längslinie der Ulna mit der (mittleren) Flexions-Extensionsachse des Ellbogengelenkes bildet. Ersterer kann als humeraler, letzterer als ulnarer Kubitalwinkel bezeichnet werden (R. Fick). Die Scheitelpunkte dieser Winkel entfallen in die Mitte der Humerusrolle (Mitte des Ellbogengelenkes). Diese liegt im allgemeinen nach innen von der Ebene, welche senkrecht zur queren Ellbogengelenkachse durch die Mitte des Schultergelenkes geht, und ebenso nach innen von einer gleich gerichteten Ebene durch die Mitte des Ulnaköpfchens, d. h. sowohl der humerale als der ulnare Kubitalwinkel sind im allgemeinen kleiner als 90°. Sowohl der Humerus als die Ulna sind im allgemeinen etwas, aber durchaus nicht immer gleich stark schräg gegen die Ellbogengelenkachse nach außen geneigt.

Die Verhältnisse dieser Winkel (die allerdings nicht immer genau nach der obigen Norm bestimmt wurden) sind namentlich durch Eugen Fischer (1906) und unter seiner Leitung durch K. Nagel (1907), ferner an einem besonders umfänglichen Material von P. Mall (1905) untersucht worden. Weitere Messungen stammen von Hultkrantz, R. Fick u. a. Letzterer Autor gibt eine dankenswerte Zusammenstellung, der wir folgendes entnehmen:

Der totale Kubitalwinkel ist beim rezenten Menschen um ca. 10—18° kleiner als ein gestreckter Winkel, ausnahmsweise aber (Fälle von E. Fischer und K. Nagel) um 26° geringer. Nur ausnahmsweise erreicht der Winkel beinahe 180°.

Der totale Kubitalwinkel scheint im Durchschnitt beim Weib um 1—2° kleiner, die Abknickung also stärker zu sein als beim Mann. Zwischen rechts und links fand sich kein deutlicher Unterschied. Beim Neugeborenen ist der humerale Kubitalwinkel öfters über 90°. (Braune und Hultkrantz). R. Fick ist geneigt, die Ausbildung des Kubitalwinkels auf die Tätigkeit der die Ellenbeuge außen

begrenzenden Muskeln, des Brachioradialis und Flexor carpi rad. long. zurückzuführen.

Was das Verhalten des ulnaren zum humeralen Kubitalwinkel betrifft, so kann bald der eine, bald der andere deutlich größer sein als sein Genosse; meist werden allerdings beide annähernd gleich groß gefunden. Von diesem Verhalten hängt es ab, wie Braune zuerst erläutert hat, ob sich bei der Beugung um die mittlere Ellbogengelenkachse die Ulna schließlich direkt (meist in flachem Kegelmantel) gegen die Humerusmittellinie, oder mehr gegen eine nach innen (Seite des medialen Epicondylus) oder gegen eine nach außen davon gelegene Stelle hin bewegt.

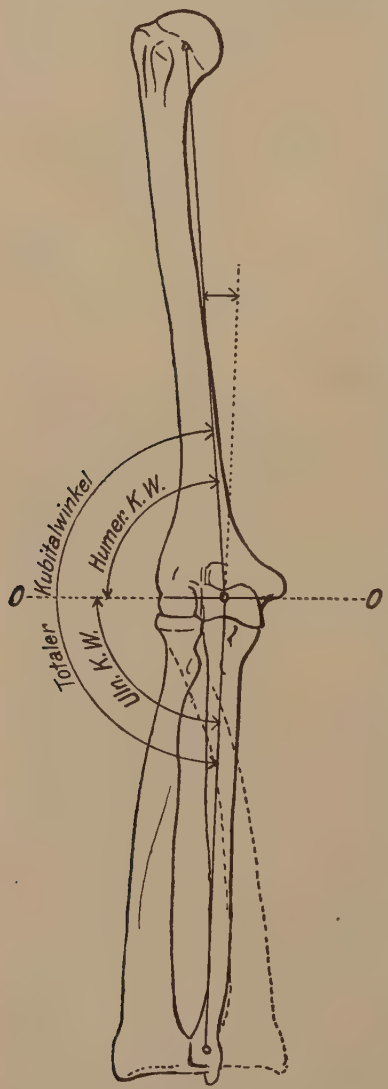


Fig. 126.

Bei gleicher Größe des humeralen und des ulnaren Kubitalwinkels kann es sein, daß in der Streckstellung die Schultergelenkmitte, die Mitte des Capitulum humeri und diejenige des Ulnaköpfchens in derselben zur Ellbogengelenkachse senkrecht gestellten Ebene liegen. In anderen Fällen trifft das nicht zu.

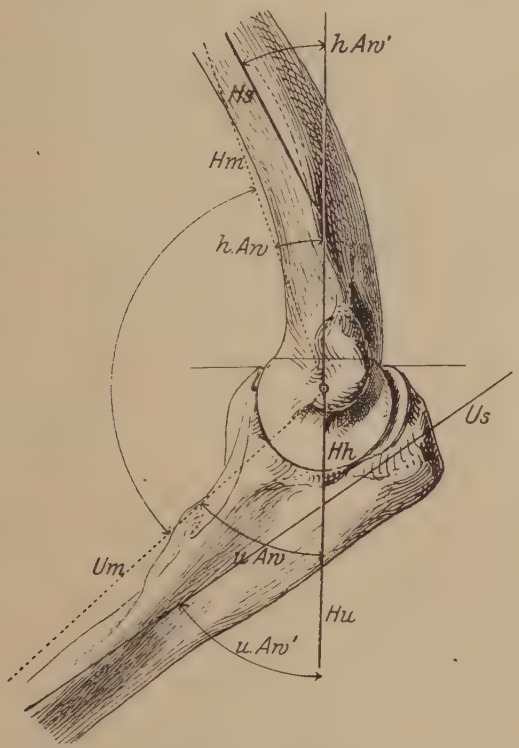
Daß bei der Supination die Abknickung des Vorderarmes gegenüber dem Oberarm in der Streckstellung deutlicher ausgeprägt sein muß als bei der Pronation, bei welcher sie meist so ziemlich verschwindet, ist leicht zu verstehen. Bei der Supination läuft ja der Radius der Ulna ziemlich parallel. Die Mittellinie des Vorderarms geht von der Mitte des Ellbogengelenkes zur Mitte des distalen Endes des Vorderarmskelettes; letzterer Punkt liegt natürlich bei der Supination nach außen, bei proniertem Vorderarm nach innen vom Köpfchen der Ulna.

Die Abbiegung der kubitalen Gelenkenden nach der Beugeseite.

Genauere Untersuchungen über den Bewegungsumfang der Flexions - Extensionsbewegung im Ellbogengelenk und über die Extremstellungen hat P. Mall (1905) veröffentlicht. Aus ihnen ergibt sich, daß beim Weib der Bewegungsumfang

m allgemeinen etwas größer ist als beim Mann (134°, im Mittel gegen 130°). Die beobachteten größten Streckungswinkel liegen zwischen 168 und 178° (173 im Mittel), die kleinsten Beugungswinkel zwischen 33 und 40° (38° im Mittel).

(Nach der Beobachtung von R. Fick findet man häufig bei Kindern und grazilen Mädchen die Möglichkeit der Überstreckung des Ellbogengelenkes.)



ig. 127. Abbiegung der kubitalen Gelenkenden. *Hm* Mittellinie des Humerus, *Hs* Mittellinie des Humerusschaftes, *Um* Mittellinie der Ulna, *Us* Mittellinie des Ulnaschaftes. *Hh* Halbierungsebene der Trochlea, *Hu* Halbierungsebene der Ulnaabel, *hAw* humeraler Abbiegungswinkel, *uAw* ulnarer Abbiegungswinkel, *hAw'* Winkel der Abbiegung des Humerusendes gegenüber dem Humerusschaft, *uAw'* Winkel der Abbiegung des Ulnaendes gegenüber dem Ulnaschaft.

Das distale Ende des Humerus ist nach vorn abgebogen. Eine Ebene durch die mittlere Flexions-Extensionsachse, welche die Rollenelenkfläche möglichst genau halbiert, steht zu der Längslinie Hm und zu der sog. Bestimmungsebene des Humerus (s. o. S. 17) schräg und bildet mit ihr einen Winkel von mindestens 20° (humeraler Abbiegungswinkel hAw, Fig. 127). Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieser Winkel innerhalb gewisser Grenzen variiert.

Aber auch die Halbierungsebene der Ulnagabel steht schräg zur Hauptlinie der Ulna (Um) resp. zu ihrer Hauptebene, welche die Krümmungsachse der Gabel mit der Mitte des Köpfchens verbindet. Noch etwas größer ist der Winkel, den jene Halbierungsebene mit dem Schaft der Ulna (Us) bildet. Man ist berechtigt, die Winkel uAw und uAw' als Maß für die kubitale Abbiegung des oberen Endes der Ulna anzusehen. Unter der Voraussetzung, daß die Hauptebene der Ulna in der äußersten Streckstellung mit der Bestimmungsebene des Humerus einen Winkel von 7° im Mittel bildet, und daß von dieser Stellung aus eine Beugung von 136° im Mittel möglich ist, steht in der Mittelstellung des Gelenkes die Hauptebene der Ulna zu der Bestimmungsebene des Humerus in einem Winkel von 72—73°. Diesen Betrag müssen die beiden kubitalen Abknickungswinkel, derjenige des Humerus und derjenige der Ulna zusammen ergeben. So bewirken Humerus und Ulna, offenbar in etwas wechselnder und kompensatorischer Weise durch die Abbiegung resp. Abknickung ihrer Gelenkenden, daß die Mittelstellung des Gelenkes in der angegebenen Weise bei nicht ganz rechtwinklig gebeugtem Vorderarm gegeben ist (Fig. 127). Am kubitalen Radiusende fehlt die Abknickung. Es ist klar, daß aus diesem Grund die Halbierungsebene der Gelenkfläche der Eminentia capitata, welche mit der Flexions-Extensionsachse zusammenfällt, entsprechend mehr, d. h. im Mittel um den Betrag von ca. 72° gegenüber der Bestimmungsebene des Humerus abgelenkt sein muß. Diese Verhältnisse sind von nicht geringem anthropologischem und vergleichend-anatomischem Interesse (s. darüber E. Fischer[1]) 1906).

8. Wirkungsweise der Muskeln zur Beugung und Streckung des Ellbogengelenkes.

Die Lage der Muskeln vor oder hinter der Flexionsachse entscheidet über die beugende oder streckende Wirkung. Unbestritten ist natürlich die beugende Wirkung des Brachialis und des Biceps (beider Köpfe). Kräftige Beuger sind ferner von den Vorderarmmuskeln der Extensor carpi radialis longus und der Brachioradialis, welche beide oberhalb des Epicondylus lat. humeri entspringen. Da die Flexionsachse durch die untere Peripherie des Epicondylus medialis geht, so können auch die an diesem Epicondylus entspringenden Muskeln einen kleinen Einfluß zur Beugung entfalten. Die beträchtlichste beugende Wirkung hat unter ihnen der Pronator teres, dessen Ursprung über den Epicondylus medialis mehr oder weniger weit hinaufgreift. Duchenne hat den beugenden Einfluß dieser Muskeln wohl zu hoch angeschlagen, indem er die Mitwirkung der zwei vorhergenannten Muskeln übersah.

Als Strecker kommen allein in Betracht der Triceps mit seinen drei Köpfchen und der Anconaeus.

Den unter R. Fick angestellten Untersuchungen von Fr. W. Grohmann (1902) entnehmen wir noch folgende Angaben über die Arbeitslei-

[1]) E. Fischer, Über die Variation der Elle und Speiche. Zeitschr. f. Morph. u. Anthropol. 1906.

stung der das Ellbogengelenk überspringenden Muskeln für die Beugung und Streckung. Berechnet man die Arbeitsfähigkeit nach dem Querschnitt und nach der Verkürzung bei maximaler Gelenkexkursion (145—150°), so findet man das Gesamtarbeitsvermögen der „Beuger" mehr als $1^1/_2$mal so groß als dasjenige der Strecker. Die beugende Wirkung der am Vorderarm gelegenen Muskeln ist bei der Pronationsstellung größer, weil sie hier von der Flexionsachse weiter abstehen. Das Umgekehrte gilt für den Biceps. Der Brachialis ist wegen seines Ansatzes an der Ulna von der Pronation und Supination selbstverständlicherweise nicht beeinflußt, ebensowenig wie die Strecker es sind. Unter den Beugern steht an Wirkungsvermögen obenan der einzige eingelenkige reine Beuger des Ellbogengelenkes, der Brachialis; dann folgen die beiden Bicepsköpfe, die zusammen den M. brachialis an Kraftmoment übertreffen.

Mit vollem Recht macht Grohmann gegen Braune und Fischer geltend, daß der M. extensor carpi rad. longus niemals eine streckende Wirkung am Ellbogengelenk entfaltet. Er schiebt sich zwar bei der Streckung vor dem Epicondylus lateralis zusammen und wölbt sich nach außen vor, wird aber durch die Faszie stets nach vorn vom Epicondylus gehalten.

Bezüglich der Wirkung des Biceps- und langen Tricepskopfes auf das Schultergelenk s. S. 39. Der Einfluß der Ellbogengelenk- und Vorderarmmuskeln auf die Pronation und Supination ist bereits früher besprochen worden.

β) Die Radioulnarverbindung und die Sonderbewegungen des Radius gegenüber der Ulna und dem Humerus.

1. Allgemeines über Pronation und Supination.

Wenn Ellbogen und Handgelenk gestreckt sind, wird eine Drehung der Hand um ihre Längsachse ermöglicht durch die Längsrotation des Humerus im Schultergelenk. Außerdem aber ist bei jeder Streck- und Beugestellung des Ellbogens eine Drehung der Hand um eine annähernd längs zum Vorderarm gerichtete Achse möglich, welche durch die beiden Köpfchen des Radius und der Ulna geht. Bei gestreckter Hand verläuft diese Achse nicht genau längs, sondern schräg zur Mittellinie der Hand (durch ihren Kleinfingerrand). Hand und Radius schwenken bei dieser Bewegung wie ein Türflügel um die genannte Achse resp. um das Köpfchen der Ulna. Diese wichtigste Sonderbewegung des Radius gegenüber der Ulna und dem Vorderarm geschieht in den beiden Radioulnargelenken, von denen das obere zum Ellbogengelenk gehört. Die Bewegung wird als Pronation bezeichnet wenn die Volarseite, als Supination wenn die Dorsalseite vorangeht. Die größten Exkursionen macht dabei der Daumenrand der Hand.

Die Ausdrücke „Pronation“ und „Supination“ sind ursprünglich ausschließlich für die Hand in Gebrauch gekommen, und zwar bedeutete Pronation ursprünglich die Überführung der Hand bei vorgeführtem Arm in eine Stellung, bei welcher die Hohlhandfläche nach vorn und unten sieht, Supination die Überführung der Hand bei vorwärts gehobenem Arm in die Stellung, bei welcher die Hohlhand nach oben gewendet ist. Die Anatomen haben sich aber längst gewöhnt, die entsprechenden Drehungen auch dann als Pronation und Supination zu bezeichnen, wenn wegen anderer Stellung des Vorderarms die Hohlhand in der Endstellung nicht nach unten oder oben gewendet ist.

R. Fick nun hat neuerdings die Ausdrücke Pronation für die Bewegungen, welche die Hand mit dem Radius gegenüber der Ulna ausführt, möglichst vermieden und dafür die Bezeichnungen „Umwendung (Manuversio) nach vorn und hinten (Vor- und Rückwendung)“ substituiert. Während wir aber gar kein Bedenken tragen, auch bei der nach oben zeigenden Hand von Pronation und Supination zu sprechen, weil wir an die eigentliche etymologische Bedeutung dieser Fremdwörter nicht denken, muß es uns doch sehr anstößig erscheinen, wenn für diese Stellung die Pronation als „Rückwendung“, die Supination als „Vorwendung“ bezeichnet wird. An und für sich wäre ja der Ausdruck „Wendung“ der Hand für die Drehung über den Kleinfingerrand gar nicht übel.

Der Grund für die Einführung eines neuen gut deutschen Ausdruckes an Stelle von „Pronation und Supination“ war nun allerdings im vorliegenden Fall wohl weniger das Sprachreinigungsbestreben, als der fatale Umstand, daß R. Fick wie so viele Andere mißbräuchlich Pronation = reine Einwärtsrotation und Supination = reine Auswärtsrotation gesetzt hat, während darunter doch bisher die Bewegung um eine schräg zur Mittellinie des Gliedes stehende Achse bezeichnet wurde, bei welcher die Längsrotation nur die Hauptkomponente darstellt. Statt die Ausdrücke Pronation und Supination im letztgenannten Sinn allgemeiner anzuwenden, hat R. Fick sie überall für die reine Längsrotation der Glieder in Gebrauch genommen. Die logische Konsequenz davon war natürlich, daß man die Bewegung der Hand um die schräge durch die Köpfchen von Radius und Ulna gehende Achse nicht mehr wie bisher als Pronation und Supination, sondern als eine Kombination von Pronation resp. Supination mit einer zweiten dazu senkrechten Drehung auffassen und dafür eine neue Bezeichnung suchen mußte!

Es ist klar, daß wir dem so hoch verdienten Forscher auf diesen Irrwegen nicht folgen können und an der ursprünglichen Verwendung des Wortes Pronation für die unreine, um eine schräge Achse stattfindende Einwärtsdrehung und des Wortes Supination für die unreine, um eine schräge Achse stattfindende Auswärtsdrehung festhalten müssen, indem wir froh sind, hiefür eine besondere Bezeichnung zu haben. Wo es aber jemals (für die abgelenkte Stellung der Glieder) wünschenswert sein sollte, die Ausdrücke Einwärts- und Auswärtsrotation näher zu präzisieren und anzudeuten, daß darunter die Längsdrehung des Gliedes nach derjenigen Seite hin gemeint ist, welche in der anatomischen Ausgangsstellung seine Innen- resp. Außenseite ist, können die Bezeichnungen pronatorische resp. supinatorische Längsrotation Verwendung finden.

Das wesentlich Bestimmende für die Art der Bewegung im Vorderarm bei der Pronation und Supination ist die Verbindung zwischen Radius und Ulna im unteren und oberen Radioulnargelenk. Das Lig. interosseum kann als ein zu diesen Gelenken gehöriges Band betrachtet werden. Muskeln, die von der Ulna, dem Humerus oder sogar dem Schulterblatt zum Radius oder zur Hand gehen, überspringen die Radioulnarverbindung und können bewegend auf dieselbe einwirken.

Daß das obere Radioulnargelenk einen Teil des Ellbogengelenkes ausmacht resp. mit dem Flexions-Extensionsgelenk zwischen Ulna und Humerus verbunden ist, ist vergleichend-entwicklungsgeschichtlich verständlich, funktionell aber für die Pronation und Supination von keiner besonderen Bedeutung. Der Humerus dient einfach als Seitenwange

des zwischen dem oberen Ende des Radius und der Ulna gebildeten Scharnier- oder Zapfengelenkes, statt daß diese Seitenwange vom Pfannenrand der Ulna gebildet wird. Man vergleiche damit das analoge obere Tibio-Fibulargelenk, das sich vom Flexions-Extensionsgelenk des Knies ganz emanzipiert hat, resp. das untere Radioulnargelenk, in welchem die Seitenwange durch die vom Pfannenrand des Radius ausgehende Dreieckplatte geliefert, allerdings dann aber noch von der Handwurzel gestützt wird. Als Abschluß der Gelenkhöhle des oberen Radioulnargelenkes dient gleichsam außer dem Humerus die ganze Wand und Kapsel des Ellbogengelenkes.

Die Hauptverhältnisse der Gelenkkörper und Gelenkflächen der beiden Gelenke sind bereits gelegentlich besprochen worden; doch sei hier alles noch einmal im richtigen Zusammenhang vorgeführt. Dabei haben wir einige anatomische Einzelheiten ergänzend zu erwähnen und genauer auf die Membrana interossea einzugehen.

2. Anatomische Verhältnisse des unteren Radioulnargelenkes.

Das untere, verbreiterte Ende des Radius dreht sich wie ein Türflügel um das Köpfchen der Ulna als Angel. Die ulnare Schmalseite desselben ist zu einer Längsrinne ausgehöhlt (Sinus lunatus radii) und überknorpelt zur Aufnahme des Capitulum ulnae, das sich seinerseits gegenüber dem Radius in dieser Rinne wie ein Zapfen dreht. Die überknorpelte Circumferentia articularis der Ulna repräsentiert natürlich im queren Umfang einen viel größeren Bogenwert als die vom Radius gebildete Pfanne. Die distal vom Ulnaköpfchen gelegene, dem ulnaren Querrand des Radiusendes angeschlossene Gewebsmasse bewegt sich mit dem Radiusende gegenüber der Ulna und ist von der queren Endfläche des Ulnaköpfchens bis nahe an den darüber hinaus distalwärts ragenden Processus styloides abgespalten, bildet aber einen zugfesten Zusammenhang zwischen dem Radiusende und dem Griffelfortsatz. An den Radial-Ulnarbewegungen und den Dorsalvolarbewegungen der Hand nimmt diese Gewebsmasse nicht teil; sie ist vielmehr von der ersten Handwurzelreihe abgespalten und hilft mit dem Radiusende die Pfanne des Radiokarpalgelenkes bilden. Sie trennt die Gelenkhöhle des Radiokarpalgelenkes von derjenigen des unteren Radioulnargelenkes. Indem sie in ihrem dem Radius benachbarten Teil zwischen den Carpus und die quere Endfläche des Ulnaköpfchens eingeklemmt und mehr oder weniger auf Druck in Anspruch genommen wird, ist sie im festen Anschluß an den Radius auf eine Strecke weit zu einer dreieckigen faserknorpligen Platte (Cartilago triquetra, Dreieckknorpel) verdichtet. Nur der zunächst dem Processus styloides gelegene Teil bleibt naturgemäß weich und biegsam als Lig. subcruentum.

Die Gelenkspalte zwischen dem Ulnaköpfchen und dem Dreieckknorpel biegt im rechten Winkel in diejenige des Sinus lunatus und in denjenigen Teil der Gelenkspalte um, welche die nicht im Sinus liegenden Abschnitte der überknorpelten Circumferentia articularis von den benachbarten Weichteilen trennt. Eine dünne Kapsel spannt sich vom dorsalen

und volaren Rande des Dreieckknorpels und des Sinus lunatus und vom proximalen Rande des letzteren hinüber zur Ulna, um sich dort proximal von der Gelenkfläche anzuheften. Sie ist so lang und ausdehnbar, als es die Exkursionen im Gelenk fordern.

Sie schließt sich dorsaler- und volarerseits ans Lig. subcruentum an. In mittlerer Gelenkstellung ist sie überall schlaff und sackartig gefaltet. Bei der Pronation schiebt sich ihr volarer, bei der Supination ihr dorsaler Teil seitlich gegen das Lig. subcruentum hin zusammen.

3. Das obere Radioulnargelenk.

In diesem Gelenk — man sollte eigentlich nur von einem oberen radioulnaren Gelenkkontakt sprechen — bewegt sich das obere Ende des Radius gegenüber der Ulna wie ein Zapfen in seinem Zapfenlager um seine Mittellinie als Achse. Das Zapfenlager (Pfanne) wird vor allen von dem seitlich am Processus coronoides gelegenen Sinus lunatus ulnae gebildet. Das Radiusköpfchen paßt in denselben mit seiner Circumferentia articularis hinein. Das Zapfenlager wird vervollständigt und zu einer vollkommenen Zwinge geschlossen durch das Lig. anulare radii, welches vorn und hinten vom Rand des Sinus lunatus ausgeht und nicht bloß den äußersten Umfang der Circumferentia articularis radii, sondern namentlich auch den Anfang des zum Hals sich verschmälernden Teil des Radiusköpfchens umfaßt, so daß die Zwinge sich trichterförmig distalwärts verengt. Das Ringband bildet einen Teil der Kapsel des Ellbogengelenkes. Mit seinem proximalen Rande verbindet sich das laterale Seitenband dieses Gelenkes; durch seine Vermittlung befestigt sich dieses statt am Radius an der Ulna. Man könnte auch sagen, das laterale Seitenband des Ellbogengelenkes hefte sich, in zwei Schenkel gespalten, welche das proximale Radiusende zwischen sich fassen, an der Ulna fest. Vorderer und hinterer Schenkel nebst Bogenfasern, welche von einem Schenkel in den anderen übergehen, bilden das Ringband. Indem das Radiusköpfchen als ein proximalwärts verbreiterter Pfropf in dem Ringband sitzt und mit seiner queren proximalen Endfläche an den Humerus anstößt, wird der Ring vom Humerus entfernt gehalten und dem einfachen Teil des lateralen Seitenbandes eine feste distale Anheftung am Vorderarm gesichert. Zugleich aber ist dem Radius durch Abspaltung vom Humerus die Möglichkeit zur Drehung um die Mittellinie seines oberen Endes und zur Beugung und Streckung mit der Ulna gegenüber dem Humerus gewährt.

Die Hauptgelenkspalte des Ellbogengelenkes, in welcher die gleitende Verschiebung bei der Beugung und Streckung des Ellbogens erfolgt, liegt zwischen den einander zugewendeten Enden des Humerus und der beiden Vorderarmknochen. Von ihr aus dringt eine Nebenspalte zwischen das Ende des Radius und die umgebende, vom Sinus lunatus ulnae und vom Ringband gebildete Zwinge hinein.

Der distale Rand dieser Spalte am Hals des Radius wird dadurch geschlossen, daß sich ein dünner Teil der Kapsel als Abschlußmembran der angrenzenden Weichteile vom distalen Rand des Lig. anulare und

des Sinus lunatus zum Hals des Radius hinüberspannt. In longitudinaler Richtung muß dieser Kapselabschnitt in der Mittelstellung des Radius schlaff und taschenartig ausgefaltet sein (Membrana sacciformis). In extremer Pronations- und Supinationsstellung muß er in seinen Längslinien um den Hals herumgewunden und angespannt sein.

Das sog. obere Radioulnargelenk bildet demnach anatomisch einen Teil des Ellbogengelenkes; seine besondere Gelenkspalte kommuniziert mit der Hauptgelenkhöhle für die Flexions-Extensionsbewegung. Da aber, wo sich das Radiusköpfchen und der Humerus berühren, findet nicht bloß bei der Flexion-Extension, sondern auch bei der Pronation-Supination zwischen Humerus und Radius Drehgleiten statt.

Eine Ebene, welche durch die Achse der Flexions-Extensionsbewegung und durch die Achse der Pronations-Supinationsbewegung geht, ergibt in einer beliebigen Gelenkstellung ein Berührungsprofil abc zwischen Radius und Humerus, wie es in Fig. 114 dargestellt ist.

Nur wenn in jeder Flexions-Extensionsstellung und in jeder Pronations-Supinationsstellung das Berührungsprofil abc in der gemeinsamen Achsenebene dasselbe bleibt, ist zwischen dem Humerus und dem Radius Drehung um diese beiden Achsen unter Erhaltung des Kontaktes möglich.

Die Endfläche des Humerus muß zu diesem Behufe eine Rotationsfläche sein mit abc als Erzeugungslinie und OO^{I} als Achse. Die Endfläche des Radius aber muß eine Rotationsfläche sein mit abc als Erzeugungslinie und OO_{II} als Achse.

Die beiden durch das Profilstück bc erzeugten Rotationsflächen können sich offenbar immer nur in einem einzigen lineären Profil bc berühren. Die beiden von ab erzeugten Rotationsflächen aber können nur dann bei jeder Drehung um die beiden Achsen ein gemeinsames Berührungsprofil ab haben, wenn dieser Bogen einen Kreisbogen um den Schnittpunkt der beiden Achsen darstellt. Die von ab erzeugten beiden Rotationsflächen sind dann kongruente Kugelflächen, die sich immer zugleich auch in allen anderen Punkten berühren. In der Tat ist die quere Endfläche des Radius eine kugelflächige Delle, welche auf die kugelflächige Eminentia capitata des Radius paßt.

4. Die Membrana interossea (Lig. interosseum).

Der Besprechung der anatomischen Verhältnisse der Membrana interossea müssen einige Bemerkungen über die Lageverhältnisse des Radius und der Ulna zueinander und einige Vereinbarungen bezüglich der Lagebezeichnungen vorausgeschickt werden. Zunächst sei auf die gerade im Hinblick auf die Membrana interossea etwas ausführlicher gehaltene Beschreibung des Radius und der Ulna auf S. 139 u. ff. verwiesen. Ausgehend von der anatomischen Ausgangsstellung des Oberarmes und Ellbogengelenkes müssen wir an der Ulna eine hintere und vordere, eine mediale und eine laterale Seite unterscheiden, welche ihre Lage zum Knochen nicht ändern. Es ist aber nur oben stets die gleiche, laterale Seite dem Radius zugewendet, während unten bald die laterale, bald die vordere, bald die mediale Seite dem Radius benachbart ist. Umgekehrt verhält es sich mit dem Radius. Hier bleibt am unteren Ende stets der eine, ulnare Schmalrand der Ulna zugewendet, der andere, abulnare Schmalrand von ihr abgewendet. Gegen das obere Ende des Radius hin, wo nicht der Radius an der Ulna, sondern die Ulna

a m Radius entlang gleitet (nach der beim Kniegelenk III. B. S. 344 erörterten Bezeichnungsweise) sind bei der Pronation und Supination stets neue Seiten des Radius der Ulna zugewendet. Man wird also besser nur am unteren abgeplatteten Teil des Radius von einem ulnaren und abulnaren Schmalrand sprechen und höher oben statt dessen die Bezeichnungen Kleinfinger- und Daumenseite verwenden. Die Unterscheidung einer dorsalen und volaren Seite des Radius kann beibehalten werden; doch muß man sich erinnern, daß die dorsale Seite bald nach hinten (Supination), bald nach außen oder nach vorn (Pronation) gewendet ist, am oberen Ende ebenso wie am unteren.

Der schmale drehrunde Hals des Radius verläuft zunächst ungefähr in der Richtung der genannten Drehungsachse. Dann biegt der Radius aus dieser Linie von der Ulna weg nach der Seite des Daumenrandes der Hand heraus. Seine Verbreiterung erfolgt wesentlich in der Ebene dieser Abbiegung. Indem das Köpfchen neben dem Processus coronoides der Ulna gelegen ist, befindet sich der ganze Radius bei Parallelstellung zum Mittelstück der Ulna nach vorn außen von demselben. Eine durch die Mittellinie des Radius und des Ulnamittelstückes gehende Ebene steht dann schräg zu der Verbindungslinie der Humerusepikondylen und zu der Flexions-Extensionsachse des Ellbogengelenkes. Die scharfe Schneide des Radius ist dann genau dem Mittelstück der Ulna zugewendet (Crista interossea); an ihr heftet sich die Membrana interossea an. Die eine dorsale Breitseite der Membran und des umgebenden Knochenrahmens ist dann nach außen und hinten, die andere, volare ist wesentlich nach vorn und innen gewendet.

Die unter der Tuberosität beginnende Crista interossea des Radius nähert sich oben zunächst etwas der Ulna, entfernt sich dann aber von ihr, um in weitem gestrecktem Bogen zu ihr zurückzukehren. An ihre Stelle tritt am unteren Radiusende die dem Ulnaköpfchen angelagerte ulnare Ausladung mit dem Sinus lunatus.

Die Pronations-Supinationsachse verläßt den Radius nahe unter der Tuberositas radii und erreicht die Crista interossea der Ulna am unteren Drittelpunkt des Knochens oder kommt ihr hier nahe und bleibt ihr bis nahe am Köpfchen der Ulna benachbart. Bei ihrem Verlauf durch das Spatium interosseum fällt sie ziemlich genau mit dem Lig. interosseum zusammen. So teilt sie das letztere in einen proximalen ulnaren Teil, der sich zwischen ihr und der Ulna ausspannt und bei der Pronation und Supination wesentlich in der gleichen Ebene bleibt, und in einen distalen radialen Teil, der sich zwischen der Achse oder ihr nahegelegenen Punkten und dem Radius ausspannt, wesentlich in einer zum Radius festen Achsenebene mit dem Radius sich umstellt, und gegenüber dem oberen ulnaren Teil der Membran bei der Pronation nach vorn und innen, bei der Supination nach außen und hinten abgeknickt wird.

a) Die Faserung der Membrana interossea.

Die Membrana interossea bildet im mittleren Abschnitte des Spatium interosseum eine vollständig geschlossene oder höchstens in wenigen kleinen schmalen Fenstern unterbrochene Platte, deren Fasern steil vom Radius zur Ulna distalwärts absteigen und ziemlich genau an den einander zugewendeten Cristae interosseae der beiden Knochen angeheftet sind. Oben am Ursprung dieser Partie greifen allerdings die Fasern vor der Crista interossea des Radius weiter gegen die Linea obliqua hin, und unten am Ansatz an der Ulna können ebenfalls stärker gehäufte Fasern über die Crista interossea hinausstrahlen. Im unteren

Ende des Spatium interosseum ist die Membran verdünnt und mit größeren Fenstern versehen. Es schließen sich hier meist an die steil zur Ulna absteigenden Fasern in allmählichem Übergang weniger schräg und mehr quer verlaufende, ja selbst ulnarwärts aufsteigende Fasern an. Meist erst in der Nähe des unteren Endes des Zwischenraumes zeigen sich wieder reichlicher steil ulnarwärts absteigende Fasern. Doch ist der Faserverlauf der ganzen verdünnten unteren Partie der Membran in jedem Präparat verschieden. Mitunter sind die steil zur Ulna absteigenden Fasern auch hier reichlicher vertreten und ist dann die Verdünnung der Membran weniger auffällig.

Die zur Ulna absteigende Faserung beginnt im allgemeinen am Radius etwas unterhalb der Tuberosität und erreicht bald ihre größte Mächtigkeit und Steilheit. Oberhalb dieser Stelle ist die Membran ebenfalls verdünnt und zeigt eine wechselnde Zahl von Fenstern und einen im einzelnen wechselnden komplizierten Faserverlauf. An die steil ulnarwärts absteigenden Fasern schließen sich oben meist zunächst weniger steil absteigende, dann folgt ein größeres Fenster oder eine Mehrzahl kleinerer Lücken. Hier und weiter nach oben treten nun auch radialwärts absteigende Fasern auf. Gegen die Tuberositas radii hin schließen sich diese meist zu einer mehr geschlossenen Platte oder zu einem schmalen Bandstreifen, der sog. Chorda obliqua zusammen. Die Tuberositas radii gleitet an ihrem radialen Rand bei der Pronation und Supination rückwärts und vorwärts und ist von ihm ab-

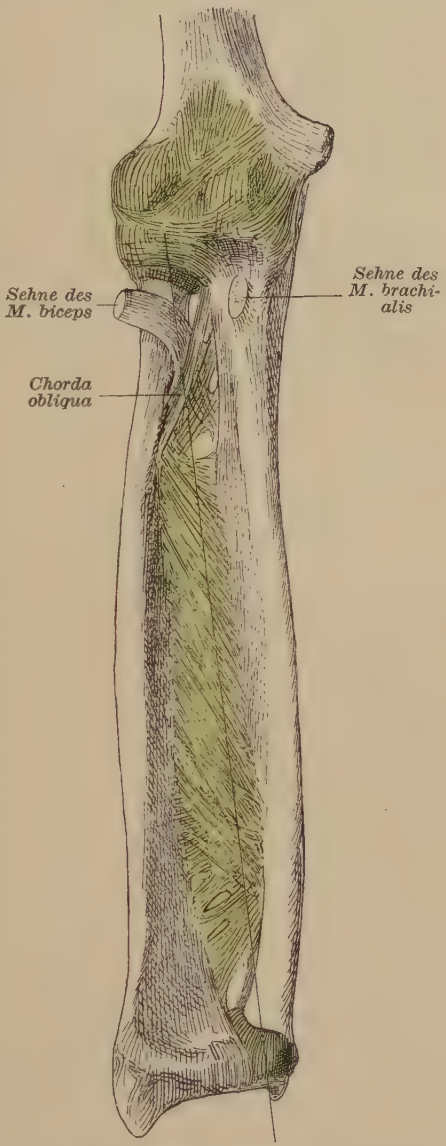


Fig. 128. Rechtes Ellbogengelenk und Vorderarmskelett mit Membrana interossea von vorn (Supinationsstellung).

getrennt (Schleimbeutel). In mehreren Fällen habe ich aber auch weiter abwärts, unterhalb der dünnen Partie und ihrer Fenster, einen kräftigen Streifen radialwärts absteigender Fasern gefunden, der an der Dorsalseite der Membran gelegen ist und sich mit dem Anfang der starken zur Ulna absteigenden Hauptfaserung kreuzt.

Die mittlere Hauptfaserung liegt wesentlich zwischen den Stellen, wo die Pronations-Supinationsachse in den Radius oben und in die Ulna unten eintritt, und ungefähr zu diesen Stellen sehen wir mehr quer gerichtete oder umgekehrt schräg verlaufende Fasern hinziehen, oben von der Ulna her zum Radius absteigend die Chorda obliqua oder ihr der Richtung nach entsprechende Fasern, unten Fasern, die von dem Radius zur Ulna mehr quer verlaufen oder aufsteigen. Wo die radialwärts absteigenden Fasern oben und unten gut entwickelt sind, kann man allenfalls von zwei Fasersystemen sprechen, die ungefähr nach den Stellen hin konvergieren, wo die Pronations-Supinationsachse aus den beiden Knochen in das Spatium interosseum eintritt, und die sich in der Mitte des letzteren zusammenschließen.

b) Die Funktion der Membrana interossea.

1. Verhalten bei der Pronation und Supination.

Wenn die Schäfte der beiden Vorderarmknochen parallel stehen, geht die Chorda obliqua hinten an der Tuberositas radii vorbei. Die jenseits der Tuberosität gelegene Ansatzstelle am Radius rückt bei der Supination an der Ulnarseite der Achse vorbei nach vorn; bei der Pronation gelangt sie von der Innenseite zur Hinterseite der Achse; sie ist der ulnaren Ursprungsstelle des Bandes am nächsten bei leicht pronierter Stellung des Radius und infolge davon bei extremer Pronation nur wenig, bei extremer Supination aber stärker angespannt. Die Chorda obliqua hemmt also vorzugsweise die Supination.

Die durch den mittleren Teil des Spatium interosseum schräg distalwärts ulnarwärts absteigenden Fasern liegen im ganzen etwas nach vorn und volar von der Pronations-Supinationsachse und heften sich am Radius abulnarwärts von dieser Achse an; sie treten aber — es gilt dies namentlich für die mehr proximal gelegenen Fasern — bei stärkerer Supination durch die Achse hindurch nach hinten. Am besten gespannt sind die in Rede stehenden schrägen Fasern bei möglichst gut parallel und in eine Ebene gestellten Vorderarmknochen (Ulnaschaft und Radius), welche Stellung der extremen Supination näher liegt als der extremen Pronation. Hier ist auch die Faserlage am besten in einer Ebene ausgebreitet. Erfolgt von dieser Stellung aus Supination oder Pronation, so tritt an der Membran eine mehr oder weniger scharfe Knickungslinie auf, welche so ziemlich den zunächst der Achse gelegenen Punkten entspricht; der radialwärts davon gelegene Teil schwenkt mit dem Radius herum und bildet mit dem ulnarwärts gelegenen Teil eine immer schärfer hervortretende Falte. Besonders auffällig wird diese Faltung, welche derjenigen eines Papierblattes zu vergleichen ist, bei der Pronation. Die einzelnen Fasern ver-

laufen im allgemeinen etwas schräg zur Knickungslinie und erschlaffen etwas bei extremer Supination und stärker bei der Pronation. Am Lebenden wird die Membran wahrscheinlich durch die bei der Pronation an der Volarseite zusammengeschobenen Weichteile etwas gleichmäßiger dorsalwärts hinausgewölbt.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß die Membrana interossea mit ihren distalwärts ulnarwärts verlaufenden Fasern die Supination über die Mittelstellung hinaus und mit der Chorda obliqua namentlich die extreme Supination hemmt. Für die letzte Hemmung der Supination kommt schließlich auch noch die Zusammenschiebung der Weichteile an der Dorsalseite, namentlich im Bereiche des unteren Radioulnargelenkes in Betracht. Bei der Pronation überkreuzt der Radius die Ulna an ihrer Vorderseite und drängt von vorn her unter Zusammenschiebung gegen die volar gelegenen Weichteile. Die Pronation wird vor allem durch den Widerstand dieser Weichteile gehemmt, bevor der Radius auf den Schaft der Ulna aufstößt.

Von anderen Einflüssen, abgesehen von der Supination, welche die Zugfestigkeit der Membrana interossea in Anspruch nehmen und für ihre Faserung entwicklungsmechanisch in Betracht kommen könnten, sind folgende zu nennen:

2. Die Zugeinwirkung der an der Membran selbst entspringenden Muskeln.

An der Volarseite kommt hierfür nur in Betracht der ulnare Teil des Flexor digit. comm. prof., der mit einer Reihe von Blättern in annähernd queren oder proximalwärts konkaven Linien am mittleren Teil der Membran entspringt. Der Zug dieser Fasern wird durch die mittlere Faserung der Membran nach dem Radius fortgesetzt. Stellenweise sind vollständige Ursprungssehnenbögen der einzelnen Blätter vorhanden, deren schwächere ulnare Schenkel aus der Membrana interossea oberflächlich heraustreten. Beim Zug an diesen Muskelportionen sieht man die schräge mittlere Faserung in ihren jeweiligen proximalen Teilen deutlich volarwärts heraustreten und sich spannen.

An der Dorsalseite dient wesentlich nur die mittlere Partie der Membran unterhalb des Supinator Muskelfasern zum Ursprung, und zwar kommen hauptsächlich in Betracht der M. extensor poll. lg., außerdem aber noch der radiale Randteil des Indicator und der ulnare Rand des Extensor brevis und Abductor pollicis, proximal indessen nur in den tieferen Teilen. Der Einfluß der Anspannung dieser Muskeln auf die Membran ist am Präparat wenig deutlich. Die Hauptfaserung der Membran entspricht nur einer kleinen Komponente dieser Zugeinwirkung und steht zu ihr nur in untergeordneter Beziehung.

3. Ausbiegung und Anspannung durch Seitendruck bei einseitiger Kontraktion und Verdickung entweder der volaren oder der dorsalen Muskeln.

4. Direkte seitliche Entfernung des Radius von der Ulna und umgekehrt.

Eine solche Entfernung kann oben, am Ellbogengelenk bei der Streckung zustande kommen (S. 290). Bei Einwirkung einer größeren Gewalt zur Abbiegung der Hand nach der Radialseite könnte sich allenfalls an der Ulna neben einem distalwärts gerichteten Zug auch ein Einfluß zur Abhebelung vom Radius geltend machen, wobei der Sinus lunatus radii als Pivot dient. Indem das obere Ende durch das Ringband am Radius festgehalten ist, müßte sich wenigstens die Mitte von ihm entfernen. Bei entgegengesetzt wirkender Gewalt könnte an eine Ausbiegung des Radiusschaftes nach der abulnaren Seite gedacht werden. Versuche zeigen, daß derartige Einwirkungen auf die Hand bei normaler Knochenfestigkeit und nicht außergewöhnlichen Krafteinwirkungen keine merkliche Verbreiterung des Spatium interoseum herbeiführen.

5. Längsverschiebung des Radius entlang der Ulna und umgekehrt.

Die Verschiebung des Radius entlang der Ulna in proximaler Richtung wird vor allem verhindert durch das Anstoßen des Radius an den Humerus, während die Ligg. collateralia des Ellbogengelenkes, namentlich das Lig. coll. mediale die Ulna an den Humerus fixiert halten und sie verhindern, sich am Radius distalwärts zu verschieben. Der Dreieckknorpel in seiner Verbindung mit dem Radius trägt offenbar nicht viel zur Hemmung einer derartigen Verschiebung bei. Die umgekehrte Verschiebung des Radius gegenüber der Ulna wird vor allem verhindert durch das Lig. anulare radii und den einfachen Teil des lateralen Seitenbandes des Ellbogengelenkes einerseits, das Anstoßen des Processus coronoides ulnae an den Humerus andererseits.

a) Eine Einwirkung zur Distalwärtsschiebung des Radius an der Ulna ist namentlich vorhanden beim Tragen eines schweren Gewichtes am herabhängenden Arm, oder überhaupt bei der Einwirkung eines starken Längszuges auf die Hand. Es überträgt sich dieser Zug ja bei festgehaltenem Oberarm in erster Linie auf den Radius, namentlich bei Ermüdung der über das Handgelenk hinübergehenden Muskeln. Der Radius hängt dabei gleichsam durch Vermittlung des Lig. interosseum (Chorda obliqua), der Ulna, des Lig. anulare radii und der Seitenbänder des Ellbogengelenkes am Humerus. Die Beuge- und Streckmuskeln des Ellbogengelenkes helfen die Ulna tragen; nur die radialen dorsalen Muskeln und namentlich der Biceps wirken direkt auf den Radius. Bei ungenügender Anspannung des Biceps und der vom Vorderarm zur Hand gehenden Muskeln muß wohl der Radius, wenn auch noch so wenig, entlang der Ulna abwärtsgleiten, wobei die Chorda obliqua des Lig. interosseum stärker angespannt wird.

Ein analoger Einfluß ist vorhanden bei Einwirkung einer stark ulnarwärts abbiegenden Gewalt an der Hand, wobei der Dreieckknorpel und das Ulnaköpfchen proximalwärts gedrängt werden, am Radius aber ein distalwärts gerichteter Zug sich geltend macht.

b) Ein gegenteiliger Einfluß zur Proximalwärtsschiebung des Radius (und des Humerusendes) gegenüber der Ulna könnte sich allenfalls bei kraftvoller Radialablenkung der Hand geltend machen und in den ulnarwärts absteigenden Schrägfasern der Membran

eine Spannungszunahme hervorrufen. Falls beide Vorderarmknochen miteinander im Ellbogengelenk nach der lateralen (radialen) oder nach der medialen (ulnaren) Seite abgelenkt werden könnten, müßte solches mit einer kleinen Längsverschiebung der Knochen aneinander verbunden sein. Im ersten Fall würde der Radius an der Ulna distalwärts, im zweiten Fall würde er proximalwärts gleiten. Im ersten Fall müßten sich die radialwärts absteigenden Fasern (Chorda obliqua), im zweiten Fall die ulnarwärts absteigenden Fasern der Membran anspannen.

Der Versuch lehrt, daß unter allen Einflüssen, welche eine Anspannung der starken mittleren, vom Radius zur Ulna absteigenden Fasern herbeiführen können, die zuletzt genannten (Ablenkung des ganzen Vorderarms im Ellbogengelenk nach der ulnaren Seite) weitaus die wichtigsten sind, und daß nur sie allein eine vollständige Anspannung dieser Fasern bewirken. Sie sind es, die sich ganz besonders geltend machen beim Tragen von Lasten vor dem Leib mit mehr oder weniger gestreckten Armen, wobei der Radius in der Regel oberhalb der Ulna und annähernd parallel zum Ulnaschaft gelegen ist.

Zusammenfassung. Das Lig. interosseum ist also im wesentlichen ein Verstrebungsmittel des von dem Vorderarmskelett gebildeten Gestänges. Seine wichtigste Faserung verläuft schräg proximalwärts vom Radius zur Ulna und dient der Hauptbeanspruchung entsprechend zur Verhinderung der Schrägstellung des Gestänges nach der ulnaren (unteren) Seite hin. Die Faserung des Ligamentes ist so angeordnet, daß die Pronations- und Supinationsbewegung möglichst wenig gehindert wird, die Anspannung und verstrebende Wirkung aber doch bei der Supinationsstellung etwas begünstigt ist.

5. Der Umfang der pronatorischen und supinatorischen Exkursion

ist am Bänderpräparat erheblich größer als an der unpräparierten Leiche und am Lebenden. Er beträgt nach R. Fick am Bänderpräparat 185—190°, nach Durchschneidung der Membrana interossea sogar 205—210° (Braune), bei erhaltenen Muskeln an der Leiche 150 bis 160°. Am Lebenden schätze ich ihn auf 120—150° (135° im Mittel). Es zeigen sich hierin große individuelle Verschiedenheiten. Die geringere Ergiebigkeit der Exkursion bei erhaltenen Muskeln erklärt sich aus dem Widerstand der bei der Pronation an der Volarseite, bei der Supination an der Dorsalseite zusammengeschobenen Weichteile. Wie bereits bemerkt wurde, ist wohl die Knickung der Membrana interossea, welche am Bänderpräparat bei starker Pronation und Supination zu beobachten ist, bei Erhaltung der Weichteile weniger scharf und wird hier wohl eher eine gleichmäßige Auswölbung nach der entgegengesetzten Breitseite stattfinden.

Bei frontal gestellter Epikondylenlinie des Humerus und abwärts gerichtetem Vorderarm sieht die Hohlhand bei extremer Supination am Lebenden fast direkt nach vorn und nur wenig nach innen; bei der Mittelstellung ist der Daumenrand der Hand nach vorn gerichtet, bei

extremer Pronation sieht die Hohlhand nach hinten und etwas nach innen. Über die Lage der Sehnen in den beiden Extremstellungen gibt die untenstehende Figur Aufschluß.

Die feste Orientierung in der wechselnden Gestalt des Vorderarmes gibt der Ellbogen mit seiner Beuge- und Streckseite und mit seinen Epikondylen, ferner die hintere Kante der Ulna. Bei der Supinationsstellung verläuft letztere von der Hinterseite des Ellbogens zur Hinterseite des Innenrandes der Handgelenkgegend, bei der Pronationsstellung aber in den Außenrand der letzteren.

Bei der Pronation windet sich die am Ellbogen rückwärts-auswärts gewendete Dorsalseite absteigend herum nach vorn, wobei die Volarseite zur inneren und hinteren wird; bei der Supination wird umgekehrt die Dorsalseite von der

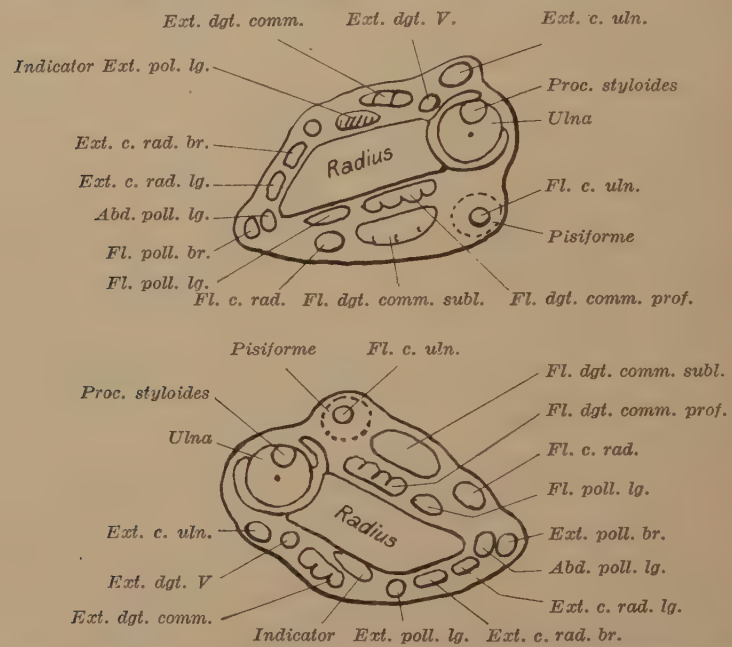


Fig. 129. Umstellung der Weichteile am unteren Ende des Vorderarmes bei Pronation und Supination. Schematisch.

Ellbogengegend absteigend zur hinteren, die Volarseite zur vorderen. Am auffälligsten sind die Verschiebungen im Umfang der Handknöchelgegend (unteres Radioulnargelenk). Bei der Supination schiebt sich der Flexor carpi ulnaris, bei der Pronation der Extensor carpi ulnaris an den Processus styloides heran, während jeweils an der entgegengesetzten Seite der ulnare Muskel vom Processus styloides abrückt.

Die Stellung der Hand zum Radius vermag die Größe der Exkursion im unteren Radioulnargelenk zu beeinflussen. Bei Dorsalstellung der Hand läßt sich die Supination, bei Volarstellung die Pronation nicht so weit treiben wie bei mittlerer Handstellung. Letzteres hängt damit zusammen, daß sich das Lig. ulnotriquetrum dorsale, das vom Processus styloides ulnae zur Dorsalseite

des Triquetrum verläuft, bei der Pronation und bei der Volarbeugung spannt. Ersteres hängt davon ab, daß sich das Lig. ulnocarpeum volare, soweit es am Processus styloides entspringt, bei der Supination und bei der Dorsalbeugung anspannt. Dagegen scheint die Radial- und Ulnarbewegung im Handgelenk ohne nennenswerten Einfluß auf das untere Radioulnargelenk zu sein. Die Exkursionen im oberen Radioulnargelenk sind, was wenigstens das Gelenk selbst betrifft, von der Beugung und Streckung im Ellbogengelenk ziemlich unabhängig. Doch muß in dieser Beziehung auf die S. 289 gemachten Angaben verwiesen werden. Es ist klar, daß die mit dem Schluß der Streckung verbundenen verschiebenden Einwirkungen auf das Radiusköpfchen zu der Beschränkung der Pronations-Supinationsbewegung etwas beitragen können. Nach Braune soll ferner eine Hemmung sowohl der Pronation als der Supination durch die Anspannung der Kapsel des Ellbogengelenkes bewirkt werden, indem der Rand des Köpfchens bei der Pronation vorn, bei der Supination hinten über die Eminentia capitata vortritt.

Bei der Prüfung des Umfanges der Pronation und Supination am Lebenden in Streckstellungen hat man sorgfältig darauf zu achten, daß sich der Humerus nicht dabei (im Schultergelenk) mitdreht. Bei rechtwinklig gebeugtem Vorderarm ist in dieser Hinsicht ein Irrtum ausgeschlossen. Auf die viel umstrittene Frage, ob die Ulna bei der Pronation und Supination in mehr oder weniger typischer Weise mitbewegt wird, soll weiter unten näher eingegangen werden.

6. Kräfte zur Pronation und Supination.

Bei frei gehaltenem Arm (Vorderarm, Hand) sind es, abgesehen von äußern an dem Vorderarm oder an der Hand angreifenden Kräften, die an der Pronations-Supinationsachse vorbei von der Ulna oder vom Humerus (Schulterblatt) zur Ulna oder zu der Hand verlaufenden Muskeln, welche pronatorisch oder supinatorisch wirken. Bei aufgesetzter Hand aber können auch Muskelaktionen am Schultergelenk, am Rumpf, an den unteren Extremitäten oder äußere, hier angreifende Kräfte zur Pronation oder Supination beitragen, wenn ihrem auf den Humerus oder auf die Ulna entfallenden, gegen die Stützfläche der Hand gerichteten Anteil ein Drehungsmoment mit Bezug auf die Pronations-Supinationsachse zukommt. Besonders machtvoll zur Pronation oder Supination sind in dieser Beziehung Kräfte, welche bei rechtwinklig gebeugtem Ellbogen vom Rumpf her auf den Oberarm wie auf den Arm einer Kurbel wirken. Natürlich erscheint in allen diesen Fällen die Pronation und Supination nicht als eine Herumbewegung der Hand und des unteren Endes des Radius um das untere Ende der Ulna, sondern als eine Herumbewegung des Humerus und oberen Endes der Ulna um den festgestellten Radius.

Wirkung der Muskeln am Vorderarm zur Pronation und Supination.

Ihre drehende Einwirkung ist für die Einheit der Spannung proportional dem kürzesten Abstand ihrer Zugrichtung von der Pronations-Supinationsachse und dem Cosinus des Winkels, den die Zugrichtung mit einer quer zur Achse verlaufenden Ebene bildet. Die Gegeneinanderdrehung von Radius und Ulna erfolgt nach der Seite der Achse, an welcher der Muskel liegt. Die gesamte Arbeitsleistung, deren ein pronierender oder supinierender Muskel (bei bestimmter Stellung des Hand- oder Ellbogengelenkes) fähig ist, richtet sich nach der Spannung, welche der Muskel in seiner Längsrichtung im Mittel entfalten kann, und nach der Gesamtverkürzung, welche er in dieser Richtung beim Übergang von maximaler Pronation zu maximaler Supination oder umgekehrt erfährt.

Auf diese Verhältnisse hin sind die Muskeln des Vorderarmes unter der Leitung von A. Fick durch F. R. Grohmann (1902) genauer geprüft worden. (Messung der Längenänderung der durch Fäden ersetzten Muskeln bei bestimmten kleinen Drehungen, Bestimmung der Muskelquerschnitte nach eigenen Messungen und solchen von Braune-Fischer, Messung der maximalen Längenänderungen und Berechnung der entsprechenden maximalen Arbeitsleistungen.) Diese Untersuchungen haben manches Neue ergeben zu dem, was sich ohne weiteres aus der Betrachtung eines Muskelpräparates entnehmen läßt.

Als starke **Supinatoren** kommen in Betracht die beiden Köpfe des Biceps und der Supinator. Der Ansatz der Hauptsehne des Biceps an der Tuberositas radii liegt bei der Pronation hinter der Achse, so daß sich die Sehne zu ihm um die Innenseite des Radius herumwinden muß. Bei der Supination kommt er vor die Achse zu liegen, aber auch bei stärkster Supination liegt er immer noch etwas einwärts von der Achse. Sein supinatorisches Moment nimmt allerdings gegen das Ende der Supination rasch ab. Der Supinator übernimmt dagegen die Hauptleistung in den letzten Perioden der Supination.

Eine geringere supinatorische Wirkung haben auch (entgegen der Annahme von Duchenne) die 4 anderen schrägen dorsalen Muskeln, die zur Hand gehen.

Der M. brachioradialis (Supinator longus) ist in der Streckstellung und mittleren Beugestellung des Ellbogengelenkes Supinator für den pronierten Arm für eine Drehung von ca. 20° aus äußerster Pronationsstellung, dann wird er Pronator; in äußerster Beugestellung des Ellbogengelenkes wirkt er überhaupt nur pronatorisch.

Der wichtigste **Pronator** ist der Pronator teres. Er entfaltet sein stärkstes Drehungsmoment, wie leicht aus dem Präparat verständlich ist, bei mittlerer Beugestellung des Armes. Nur bei stark gebeugtem Arm kommt ihm an pronatorischem Einfluß der Brachioradialis gleich (aber doch wohl nur am Präparat und kaum am Lebenden, wo der Muskel durch die Faszie niedergehalten und der Pronations-Supinationsachse genähert ist).

Bei gebeugtem Ellbogen hat auch der M. extensor carpi radialis longus etwelchen Einfluß zur Pronation.

Mit zunehmender Streckung im Ellbogen verliert der Pronator teres an pronatorischem Einfluß. Ähnlich verhalten sich der Brachioradialis und der M. extensor carpi radialis longus.

Eine geringe pronatorische Wirkung kommt endlich auch dem Flexor carpi radialis longus und sogar dem Palmaris longus zu. Letzteres wurde von Duchenne geleugnet.

Dem Flexor carpi rad. long. an pronatorischem Arbeitsvermögen ungefähr gleich ist der M. pronator quadratus. Daß dieser Muskel pronieren muß, geht aus seiner Lage zur Achse deutlich hervor. Er erstreckt sich distalwärts bis zum volarwärts ausladenden queren Endrand der volaren Breitseite des Radius und bis vor das Köpfchen der Ulna. Die Pronations-Supinationsachse liegt hier natürlich deutlich nach hinten resp. nach außen von der Fläche, welche dem Muskel als Unterlage dient. Dies ist auch noch weiter oben der Fall, wo die Achse aus der Ulna heraustritt. Erst im Bereich des oberen Randes des Muskels und nur bei stärkster Supination kommt die Achse in die Membrana interossea selbst, näher ihrem ulnaren Ansatz zu liegen (Fig. 130). Der ganze Muskel befindet sich also an der vorderen resp. volaren Seite der Drehungsachse. Nebenstehende Figur zeigt, wie sich in der oberen Hälfte des Muskels der Radius zur Ulna umstellt. Der Radius bleibt stets mit der gleichen volaren Breitseite der Ulna zugewendet, während von der Ulna bei der Supination nur die Vorderseite, bei der Pronation auch die Innenseite gegen den Radius schaut. Während also am Radius stets nur die Fläche u m zur Anheftung des Muskels benutzt werden kann, können die oberflächlichen Muskelfasern an der Innenseite des Muskels bis zum Punkte p herumgreifen, indem sie sich bei der Pronation von der Ulna abwickeln und frei zwischen Ulna und Radius verlaufen. Eine solche Abwicklung ist nur an der Ulna, nicht aber am Radius möglich. Das pronatorische Moment vergrößert sich natürlich bei der Pronation (vgl. Straßer, 1883, und Einthoven, 1884).

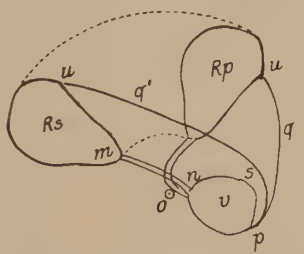


Fig. 130. Das Verhalten des Pronator quadratus bei der Pronation und Supination. *V* Ulna, *Rs* Radius in Supinationsstellung, *Rp* Radius in Pronationsstellung, *mn* Membrana interossea, *q'* und *q* oberflächliche Fasern des Pronator in Supinations- und Pronationsstellung, *p* ihr Ursprung an der Ulna, *u* ihr Ansatz am Radius, *o* Drehungsachse.

7. Mitbewegung der Ulna bei der Pronation und Supination.

Mit Bezug auf die Radioulnarverbindung und die sie überspringenden Muskeln bildet der Radius mit den anliegenden Weichteilen und mit der Hand die eine Partialmasse. Die Ulna mit den zugehörigen Weichteilen, sowie die proximalwärts sich anschließenden Körperabschnitte stellen

die andere Partialmasse dar. Es ist nun namentlich bei frei gehaltenem Arm von Interesse zu wissen, ob und wie sich die Aktion der Muskeln der Pronation und Supination in einer Gegenbewegung der Ulna, des Oberarms usw. äußert. Finden gegensinnige Bewegungen der Ulna im Ellbogengelenk statt? Wird am freien Arm etwa sogar das obere Ende der Ulna mit dem Humerus um das obere Ende des Radius herumbewegt unter Auswärtsrotation des Humerus im Schultergelenk? Im allgemeinen bemerken wir, daß solche Bewegungen, soweit sie die pronatorische oder supinatorische Arbeitsleistung an Radius und Hand vermindern, nicht bloß durch die Tätigkeit der Muskeln des Ellbogen- und Schultergelenkes verhindert werden, daß vielmehr durch gleichsinnige Bewegung in den höher liegenden Gelenken die Bewegung des Endstückes unterstützt wird, so beispielsweise die Pronation der Hand bei gestrecktem Arm durch Einwärtsrotation des Oberarms. Bei rechtwinklig gebeugtem Arm wird die pronatorische Bewegung des Radius und der Hand dadurch gefördert, daß Oberarm und Vorderarm zusammen um die Armlinie, d. h. um die durch den Mittelpunkt des Schultergelenkes und die Hand verlaufende Gerade nach außen und vorn schwenken, wobei es sich um eine Radialbewegung des Oberarms nach vorn und außen, verbunden mit Einwärtsrotation handelt. Die Aktion im Schultergelenk ist um so kraftvoller, je größere Widerstände bei der Drehung der Hand überwunden werden müssen. Sie tritt z. B. sehr deutlich hervor beim Bohren. Die Mittellinie der Hand wird hier möglichst in die Richtung der Armlinie gebracht (vgl. H. v. Meyer, Deutsche Zeitschr. f. Chir. 1884, S. 315 u. 316).

Beim Bohren ist ja natürlich darauf Rücksicht zu nehmen, daß eine bestimmte mittlere Linie der Hand ihre Lage nicht ändert. Es ist aber diese Rücksicht wohl überhaupt fast immer bei den Drehungen der Hand um ihre Längsachse maßgebend. Wir sind so gewöhnt, die Hand bei der Längsrotation an der gleichen Stelle zu halten, daß solches auch bei völlig freiem, gestrecktem oder gebeugtem Arm unwillkürlich geschieht. Wäre die Ulna völlig unbewegt und nur der Radius mit der Hand das Bewegte, so müßte der Kleinfingerrand der Hand seine Lage beibehalten, die Hand würde bei der „Umwendung" annähernd um ihre ganze Breite nach innen rücken. Ihre Mittellinie käme ferner bei der Mittelstellung zwischen Pronation und Supination weiter nach vorn zu liegen als in den Extremstellungen. Man überzeugt sich nun leicht, daß die Hand (ihre Mittellinie) bei gestrecktem Ellbogengelenk vor allem dadurch an der gleichen Stelle gehalten wird, daß sich mit der Pronation eine geringe Auswärtsablenkung des Oberarms im Schultergelenk und mit der Supination eine entsprechende Einwärtsablenkung verbindet. Die Annäherung zu der Mittelstellung zwischen Pronation und Supination ist von einer geringen Vorbewegung des Arms im Schultergelenk begleitet, die Pronation oder Supination aus dieser Stellung von einer geringen Rückbewegung. Wollen wir aber bei rechtwinklig gebeugtem Arm und aufgestütztem Ellbogen die Hand innerhalb der gleichen Raumfigur um ihre Längsachse drehen, so verbinden wir mit der Supination eine Einwärtsrotation und mit der Pronation eine Aus-

wärtsrotation des Oberarmes. Auch kleine Beuge- oder Streckbewegungen im Ellbogengelenk helfen mit. Um die Hand bei der Pronation und Supination innerhalb derselben Raumfigur zu behalten, ist es also bei Freiheit der Bewegung im Schultergelenk und Ellbogengelenk nicht nötig, daß die Ulna (unter Mitnahme des Radius) im Ellbogengelenk atypische seitliche Nebenbewegungen ausführt.

Nun haben aber verschiedene Autoren behauptet, daß auch bei völlig festgestelltem Humerus das Handgelenk bei der Pronation und Supination im ganzen an derselben Stelle des Raumes verbleibe oder verbleiben könne. Ist dies richtig, so muß man in der Tat annehmen, daß die Ulna eine seitliche Bewegung im Ellbogengelenk derart ausführt, daß ihr unteres Ende beim Übergang des Radius aus der Pronations- in die Supinationsstellung annähernd um die Breite des Handgelenkes nach innen geht und umgekehrt. Daneben muß natürlich der Anfang der Pronation mit etwelcher Streckung, das Ende mit etwelcher Beugung im Ellbogengelenk verbunden sein.

Le Comte glaubte dies zu beweisen, indem er beim Lebenden bei anscheinend festgestelltem Oberarm und enger Umfassung des Handgelenkes durch einen festgestellten Ring Pronations- und Supinationsbewegungen zustande brachte. Doch ist nicht mit Sicherheit auszuschließen, daß bei diesen Versuchen (abgesehen von kleinen Flexions- und Extensionsbewegungen im Ellbogengelenk) nicht auch Bewegungen im Schultergelenk stattgefunden haben. Dagegen hat schon Duchenne (1866) am Präparat, bei Feststellung des Humerus im Schraubstock ein seitliches Ausweichen des unteren Endes der Ulna im Betrage von 1—$1^1/_2$ cm bei der Pronation beobachtet.

Ferner berichtet Heiberg, daß es ihm gelungen ist, am Präparat bei wirklich absolut festgestelltem Humerus das Handgelenk im Innern des festgestellten Le Comteschen Ringes zu supinieren und zu pronieren.

Auch H. v. Meyer fand Ähnliches. Er konstatierte, daß die Ulna gewisse Wackelbewegungen gegenüber dem Humerus ausführen, und daß man ihr (am Präparat) eine Art Circumduktionsbewegung aufzwingen kann. Doch nimmt er nicht wie Heiberg an, daß sich die Ulna beim Lebenden durch bestimmte typische Nebenbewegungen im Ellbogengelenk bei jeder Pronation und Supination beteilige, hält vielmehr dafür, daß solche Nebenbewegungen nur durch besondere größere Krafteinwirkungen erzwungen werden können und gewissermaßen subluxatorischer Natur sind.

Zu ähnlichen Befunden wie Heiberg ist Hultkrantz gekommen. Er fand, daß am Lebenden, bei Fassung des Handgelenkes in einem Le Comteschen Ring oder in einem drehbaren Griff Pronation und Supination bei anscheinend festgestelltem Humerus möglich ist, und daß hierbei allerdings die Ulna im Ellbogengelenk kleine seitliche Bewegungen und Längsdrehungen ausführt, daß dieselben aber nicht groß genug sind, um die Circumduktion der Ulna zu erklären, ja teilweise in entgegengesetztem Sinn, als dafür notwendig wäre, geschehen. Für die vollständige Circumduktion der Ulna im Le Comteschen Ring müssen beim Versuch am Lebenden, auch wenn eine möglichst große Anstrengung gemacht wird, den Oberarm ruhig zu halten, kleine Längsdrehungen des Humerus im Schultergelenk stattfinden und außerdem sollen kleine Flexions- und Extensionsbewegungen im Ellbogengelenk zu den atypischen seitlichen Bewegungen und Längsrotationen der Ulna in diesem Gelenk hinzutreten.

Die der Radiusbewegung konträren kleinen Längsdrehungen und seitlichen Wackelbewegungen der Ulna im Ellbogengelenk ist Hultkrantz geneigt, auf die Einwirkung des Supinator und des Pronator quadratus zurückzuführen.

Hultkrantz unterstützte und vervollständigte seine Untersuchungen am Lebenden durch einen heroischen Versuch an sich selbst und an einer zweiten männlichen Person (seinem Bruder). Unter Kokainanästhesie und strengster Antisepsis wurde den Versuchspersonen ein feinpolierter Stahlnagel in den lateralen Epicondylus und ein weiterer solcher Nagel (oder 2) wurde längs (und quer) ins Olekranon eingetrieben. Dadurch wurde eine genaue Kontrolle der Bewegungen der Ulna ermöglicht.

Bei der Beurteilung dessen, was bei der Drehung in der Vorderarmknöchelgegend im Le Comteschen Ring geschieht, muß vor allem berücksichtigt werden, ob das Ellbogengelenk dabei gebeugt oder gestreckt ist. Bei gestrecktem Ellbogengelenk ist für die Circumduktion des Ulnaköpfchens erstens notwendig, mit Rücksicht auf die Verschiebung in der Flexionsebene des Ellbogengelenkes, entweder eine Flexions- und Extensionsbewegung im Ellbogengelenk oder eine entsprechend gerichtete Radialdrehung im Schultergelenk oder eine Kombination zwischen beiden Bewegungen. Zweitens ist notwendig, mit Rücksicht auf die dazu senkrechte seitliche Exkursion des Ulnaköpfchens, entweder eine entsprechende seitliche Wackelbewegung der Ulna im Ellbogengelenk oder, soweit diese nicht stattfindet, eine entsprechende seitliche Radialdrehung im Schultergelenk. Das untere Humerusende kann nur dann mit seiner Mitte an Ort und Stelle bleiben, wenn die seitliche Nebenbewegung der Ulna im Ellbogengelenk allein ausreicht, was in der Regel nicht der Fall ist, aber eventuell noch mit größerer Gewalt erzwungen werden kann.

Tatsächlich wird nun aber bei der Drehung der Vorderarmknöchelgegend im Le Comteschen Ring das Ulnaköpfchen nicht einfach translatorisch im Kreis herumgeführt, sondern zugleich im Sinn der Unterstützung der Einwärts- oder Auswärtsdrehung des Ganzen um seine Längsachse gedreht. Diese Drehung geschieht für gewöhnlich nur zum kleinen Teil oder gar nicht im Ellbogengelenk, vielmehr unter Mitdrehung des Humerus um seine Längsachse im Schultergelenk. Entsprechend dieser Drehung ändert sich natürlich etwas das Verhältnis zwischen den notwendigen Exkursionen in der Längsebene, welche mit dem Ellbogengelenk zusammenfällt, und in der senkrecht dazu stehenden Längsebene. Ist die Längsrotation des Humerus wirklich vollkommen verhindert, ein kleiner seitlicher Ausschlag aber möglich, so kann zwar die Drehung im Le Comteschen Ring ein Stück weit vor sich gehen, aber nicht zu Ende geführt werden.

Bei gebeugtem Ellbogengelenk liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Erstens kann die Herumführung des Ulnaköpfchens im ganzen, soweit sie in der Beugungsebene des Ellbogengelenkes zu geschehen hat, nur durch eine normale Beugungs- oder Streckbewegung im Ellbogengelenk und nicht durch Bewegung im Schultergelenk geschehen. Die dazu senkrechte seitliche Bewegung des Ulnaköpfchens aber, soweit sie nicht durch eine atypische Seitenbewegung im Ellbogengelenk zustande kommt, muß durch eine Längsrotation des Humerus herbeigeführt werden. Es entspricht aber hier der Pronation eine Auswärtsdrehung des Humerus, der Supination eine Einwärtsdrehung. Endlich kann die Pronation und Supination nicht durch Längsdrehung des Oberarms unterstützt, es kann eine Drehung des Ulnaköpfchens um seine Längsachse nicht durch die Längsrotation des Humerus bewirkt werden; es wäre dazu schon notwendig, daß sich der Humerus wie ein Kurbelarm um diese Längsachse herumbewegte, unter stärkster Exkursion am Schulterende. In der Tat ist zwar auch bei gebeugtem Arm die Drehung im Le Comteschen Ring möglich, aber in nur beschränktem Umfang. Das Ulnaköpfchen dreht sich nicht um seine Längsachse, der Processus styloides bleibt stets der gleichen Seite des Ringes zugewendet, wie wir entgegen der irrtümlichen gegenteiligen Angabe von R. Fick (Handb. III, S. 344) hervorheben müssen.

IV. Der Arm als Ganzes.

α) Gleichzeitige Stellungsänderung in verschiedenen Armgelenken. Veranschaulichung derselben.

1. Gemeinsame Bewegung im Schulter- und Ellbogengelenk. Verhalten der Muskeln.

Die Skapularextension des Humerus in der Ebene des Schulterblattes oder bei etwas ventral abgelenktem Humerus kann etwas weiter geführt werden, wenn der Arm gestreckt, als wenn er maximal im Ellbogengelenk gebeugt ist, und ebenso kann der Ellbogen dicht hinter dem Schulterblatt etwas weiter nach innen geführt werden bei gebeugtem als bei gestrecktem Ellbogengelenk. Dies beruht auf dem Verhalten der zweigelenkigen Muskeln, welche sowohl das Schultergelenk als das Ellbogengelenk überspringen (aktive und passive Insuffizienz).

Bei der gleichzeitigen Bewegung im Schultergelenk und im Ellbogengelenk müssen wir zwei Arten der Koordination unterscheiden:

1. Die zwangmäßige passive Nebenbewegung in dem einen Gelenk bei Muskelaktion am anderen Gelenk. Es kommt hier namentlich die Nebenbewegung im Schultergelenk bei Aktion am Ellbogengelenk in Frage. Wir verweisen in dieser Beziehung auf unsere Darlegung im I. Bd. d. Lehrb. (namentlich S. 174 u. ff.) und auf die grundlegenden Auseinandersetzungen von O. Fischer (Beiträge zu einer Muskeldynamik, II. Abhandl., Leipzig, XXIII. Bd., Nr. 6, 1897). Die Impulse zur Nebenbewegung des Humerus im Schultergelenk wirken in der Flexions-Extensionsebene des Ellbogengelenkes.

2. Kombinierte Muskelaktion an beiden Gelenken. Als allgemeine Regel gilt, daß sich die beiden Aktionen in möglichst zweckmäßiger und einfacher Weise zur Ausführung einer bestimmten Stellungsänderung oder rascheren Bewegung der Hand oder einer bestimmten äußeren Arbeitsleistung unterstützen. Die Drehungsebene am Schultergelenk fällt mit der Flexions-Extensionsebene öfters zusammen. In anderen Fällen allerdings, wenn letztgenannte Ebene nicht mit der er-

strebten Bewegungsbahn der Hand zusammenfällt, sorgt das Schultergelenk für die dazu senkrechte Komponente der Bewegung.

Stimmen die zwei Drehungsebenen annähernd überein, so kommen zwei Hauptmöglichkeiten der Kombination in Betracht, die homotrope und die heterotrope Bewegung in den beiden Gelenken.

Die heterotrope Kombination tritt auf, wenn es sich darum handelt, die Hand dem Schultergelenk oder seiner Nachbarschaft zu nähern oder umgekehrt den Arm auszustoßen, die homotrope Kombination aber dient dazu, die Hand vor dem Schultergelenk vorbei von weit oben nach weit unten, oder von einer weit dorsal nach einer weit ventral und jenseits der Mittelebene gelegenen Stelle und umgekehrt zu bewegen (Hieb, Schlag usw.). Für die zweigelenkigen Muskeln ergibt sich bei diesen zwei Hauptarten der Kombination ein ganz verschiedenes Verhalten. In gewissen Stellungen, bei seitlich gehobenem, auswärtsrotiertem Arm stellt allenfalls der kurze Kopf des Biceps einen zweigelenkigen Muskel dar, welcher den Humerus überkreuzt, wie der Sartorius das Femur. Bei vorwärts gehobenem und einwärtsrotiertem Oberarm liegt auch dieser Muskel am Ellbogen- und Schultergelenk an übereinstimmender Seite. Der Triceps liegt am schönsten gleichseitig bei etwas vorgeführtem und auswärtsrotiertem Oberarm. Soweit die zweigelenkigen Muskeln homolateral gelegen sind, verkürzen sie sich bei der heterotropen Bewegung bloß in dem einen der beiden Gelenke, während sie sich im anderen verlängern. Am einen Gelenk leisten sie positive Arbeit, während am anderen Gelenk an ihnen seitens der Antagonisten Arbeit geleistet wird. Ihre Gesamtlängenänderung ist relativ gering. Bei der homotropen Bewegung dagegen verkürzen resp. verlängern sich diese Muskeln gleichzeitig in beiden Gelenken, im ersteren Fall leisten sie an beiden Gelenken positive Arbeit. Die Längenänderungen an beiden Gelenken summieren sich. Über die Bedeutung der zweigelenkigen Muskeln, ihre Faserlänge und die Frage der Ökonomie ihrer Arbeitsleistung haben wir uns auf S. 400 u. ff. des III. Bandes d. Lehrb. ausgesprochen, ebenso im I. Bd. d. Lehrb. auf S. 159, 178 u. ff.

2. Veranschaulichung der gleichzeitig in verschiedenen Armgelenken möglichen Stellungsänderungen.

Das wertvollste und am nächsten liegende Hilfsmittel zur Veranschaulichung von Bewegungskombinationen ist das Skelett selbst. Es muß nur durch geeignete Konstruktionen dafür gesorgt sein, daß die in jedem Gelenk beim Lebenden möglichen Bewegungen und nur diese zwischen den Gliedern des Skelettes ausgeführt werden können. Dies ist für die Flexions-Extensionsbewegung im Ellbogengelenk und für die Radioulnarbewegung leicht zu erreichen. Am Schultergelenk kann der Humeruskopf entfernt und statt dessen an der richtigen Stelle ein kleines Kugelgelenk eingesetzt werden. Die Hand muß mit dem Ende des Radius durch einen Cardanus verbunden werden.

Zur genauen Bestimmung und Definition der Stellungen in den einzelnen Gelenken können Rahmenwerke dienen, wie wir solche für das

Hüft- und das Schultergelenk konstruiert haben. Sie erlauben einzelne Stellungen und eine Reihe aufeinanderfolgender Stellungen, u. a. auch die Extremstellungen, in ein Gradnetz der Exkursionskugelfläche, welche um den Mittelpunkt des Gelenkes herumgelegt und zum einen Gelenkkörper fest ist, einzuzeichnen, sei es, daß man sich dabei eines Globus oder einer Karte bedient.

Indem nun aber nicht bloß ein Punkt, sondern zwei Punkte des distalen Endes des bewegten Knochens hinsichtlich ihrer Lage in der Exkursionskugelfläche bestimmt werden können, ist für jede Stellung des bewegten Gliedes auch die Lage der Gelenkachsen des folgenden Gelenkes gegeben und am Modell oder kartographisch darstellbar, sofern die Achsen zu dem bewegten Glied feststehen. So lassen sich in der Exkursionskugelfläche des Schultergelenkes für jede Stellung des Humerus auch die Extremlagen der Flexions-Extensionsachse des Ellbogengelenkes (Epikondylenlinie, Figg. 26 u. 131, schwarze Linien) einzeichnen oder, wie in nebenstehender Figur durch rote Pfeile, die als Tangenten gedacht sind, die Richtungen, nach welchen hin die Ulna bei der Beugung sich bewegt. Die größten Kreisebenen, welche durch diese Pfeile hindurchgehen, entsprechen der jeweiligen Flexions-Extensionsebene. Welche Stellung die Ulna in der Flexions-Extensionsebene einnimmt, läßt sich freilich nicht andeuten. Trotzdem ist die kartographische Darstellung der Fig. 131 ein recht wertvolles Hilfsmittel zur Veranschaulichung der möglichen Kombination oder Bewegung im Schultergelenk mit einer Flexions-Extensionsbewegung im Ellbogengelenk. Auf einem Globus könnte man natürlich leicht die über die Exkursionskugelfläche hinaus verlängerte Humerusachse durch einen Stift mit Fußplatte darstellen und wie eine Schachfigur verschieben. An derselben könnte ein Scharnier mit Zeiger angebracht werden zur Nachahmung der Beugestellung und Flexions-Extensionsbewegung der Ulna.

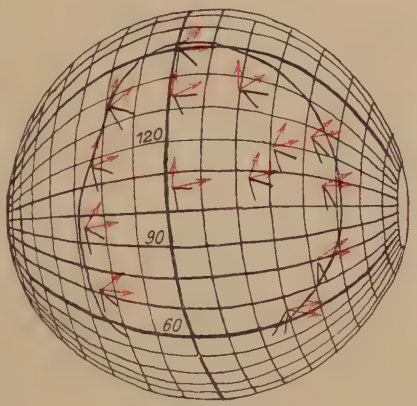


Fig. 131.

Zur Darstellung der Flexions-Extensionsbewegung der Ulna auf einer Exkursionskugel, welche zum Humerus fest ist, legt man das Gradnetz so, daß die Polachse mit der Humerusmittellinie und der Mittelpunkt der Exkursionskugel mit der Mitte der Eminentia capitata zusammenfällt. Man darf in erster Annäherung füglich annehmen, daß die Flexions-Extensionsachse senkrecht zu der so gewählten Polachse steht und das Ulnaköpfchen sich in einem und demselben Meridiankreis der Exkursionskugel (vom 7. bis zum 136. Parallelkreis vom unteren Pol aus numeriert) bewegen kann. Der große (radio-

ulnare) Querdurchmesser des distalen Radiusendes, der zur Pronations-Supinationsachse senkrecht steht und durch seine Stellungsänderung gegenüber der Ulna am besten die Pronations-Supinationsbewegung charakterisiert, verhält sich in der Exkursionskugelfläche wie eine Tangente zum Ulnarpunkt. Er ist stets mehr oder weniger nach der Beugeseite des Ellbogengelenkes resp. nach der Seite des proximalen Poles der Exkursionskugel hingerichtet. In der mittleren Pronations-Supinationsstellung fällt er mit dem Flexions-Extensionsmeridian zusammen, bei der Supination weicht er von ihm nach außen ab, bei der Pronation nach innen. Eine fortlaufende kombinierte Bewegung, bei welcher Flexion-Extension im Ellbogengelenk mit Pronation oder Supination verbunden ist, läßt sich also auf der zum Humerus fest an-

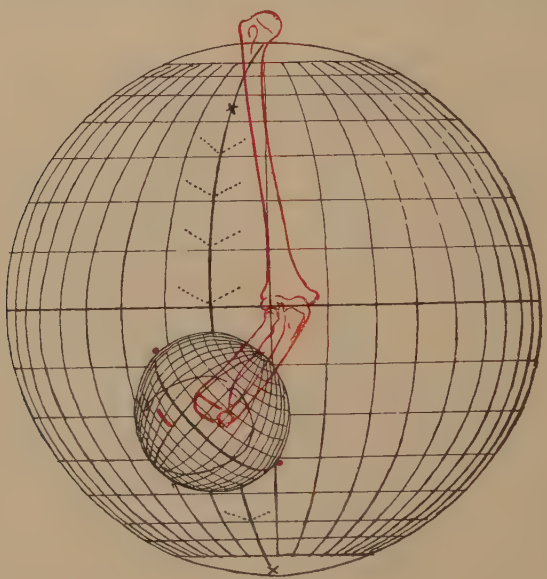


Fig. 132.

genommenen Exkursionskugel durch die Einzeichnung einer genügend großen Zahl successive durchlaufener Stellungen charakterisieren. Natürlich ist es auch möglich, für jeden beliebigen kleinen Abschnitt der Bewegung die instantane Drehungsachse zu bestimmen (O. Fischer, Kinematik). Doch hat dies keine große praktische Bedeutung. Wohl aber lassen sich an einem Exkursionsglobus auch noch die in jeder Stellung des Radiusendes möglichen Bewegungen des Handgelenkes veranschaulichen. Zu diesem Behufe müßte eine kleine Halbkugel, welche an der Basis etwas ausgehöhlt ist und sich auf der Oberfläche des Exkursionsglobus verschieben läßt, als Exkursionskugelfläche für die Bewegungen im Handgelenk benutzt und mit der in Fig. 109 auf S. 263 gegebenen Zeichnung versehen werden. Der radioulnare Durchmesser der Halb-

kugelbasis müßte auf die Linie des Radiusquerarmes, der Ulnapunkt desselben auf den Ulnapunkt des Hauptglobus zu liegen kommen. Die volare Seite der Exkursionskugelfläche des Handgelenkes müsste nach innen gerichtet sein (Fig. 132).

Mehr Schwierigkeiten bereitet es, sich die kombinierten Bewegungen proximaler Teile vorzustellen, welche bei Fixierung eines distalen Gliedes gegenüber diesem Gliede möglich sind. Wir können diese Bewegungen am ganzen Skelett nicht gut nachahmen und müssen schon mit einem abgelösten Armskelett (ev. mit Schultergürtel und Thorax) operieren. In die globographische und kartographische Darstellungsweise müssen wir uns mit einiger Mühe hineindenken. Doch braucht wohl nicht hervorgehoben zu werden, wie wichtig die Beschäf-

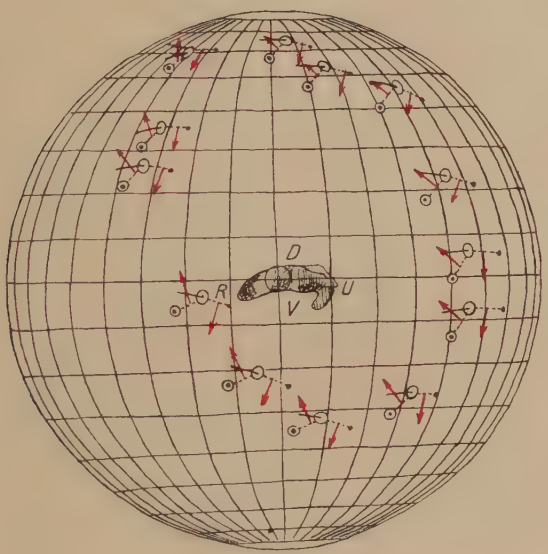


Fig. 133.

tigung mit diesem Gegenstande für das Verständnis der Stellungen und Bewegungen des Körpers insbesondere für den bildenden Künstler ist.

Wir wollen zunächst den Fall ins Auge fassen, daß die Hand festgestellt ist. Wie stellen sich hier die Bewegungen des Radius zur Hand, der Ulna zum Radius und des Humerus zur Ulna dar?

Die Fig. 109 auf S. 263 zeigt uns die Exkursionsmöglichkeiten eines durch das III. Metakarpalköpfchen getriebenen dorsovolaren Stiftes bei den Bewegungen des Grundteils der Hand im gemeinsamen Handgelenk gegenüber dem Ende des Radius. Leicht läßt sich die Figur soweit abändern, daß statt der Lagen eines dorsovolaren Stäbchens diejenigen eines radioulnaren Querstäbchens dargestellt sind. Nun läßt sich leicht geometrisch erweisen, daß man das gleiche Bild, um 180° gedreht, erhalten

muß, wenn der Grundteil der Hand unbeweglich festgestellt ist, für die verschiedenen Lagen, welche ein parallel zum radioulnaren queren Hauptdurchmesser des Radiusendes verlaufendes, weiter proximal durch den Radius getriebenes Stäbchen in der proximalen Fläche der Exkursionskugel einnehmen kann, wenn wir sie von der proximalen Seite her betrachten. Dementsprechend erhält man für die Exkursionen des Radius gegenüber dem Grundteil der Hand im Handgelenk eine proximalwärts gewendete Exkursionskugelfläche mit eingezeichneten Extremstellungen, wie sie in vorstehender Fig. 133 abgebildet ist. Es handelt sich hier um die Exkursionskugelfläche des rechten Radius bei Betrachtung von der proximalen Seite her.

Die kurzen ausgezogenen Linien geben die Lagen des radioulnaren Stäbchens wieder; durch kurze punktierte Linien ist die Stellung der Flexions-Extensionsachse bei äußerster Pronation und Supination gekennzeichnet, durch rote Pfeile die Richtung, nach welcher hin die Flexion des Humerus stattfindet. Die größten Kreisebenen, welche durch diese Pfeile gelegt sind, entsprechen den Flexions-Extensionsebenen für die betreffenden Stellungen. In der Supinationsstellung geschieht die Beugung nach der volaren Seite, in der Pronationsstellung nach dem radialen Rand und der Dorsalseite des Handgelenkes hin.

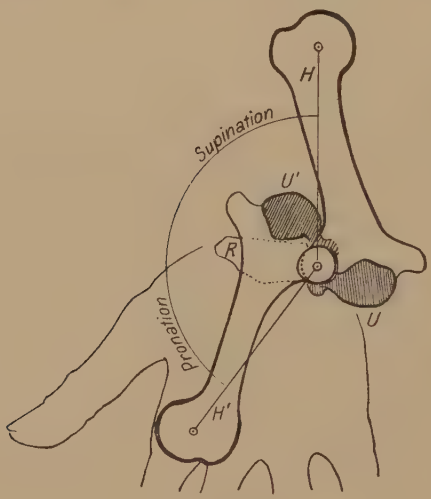


Fig. 134.

Noch anschaulicher wird die Art und Weise, wie sich die Ulna bei festgestellter Hand um das obere Ende des Radius herumdreht, wenn wir uns nicht bloß die Hand, sondern auch den Radius festgestellt denken, wie solches der Fall ist, wenn wir uns bei vertikal gestelltem Vorderarm auf die Volarseite der nach dem Dorsum zu rechtwinklig abgebogenen Hand stützen (Fig. 299).

Mit der Ulna schwenkt die Flexions-Extensionsebene des Ellbogengelenkes um den Radius herum. Der Humerus ist in nebenstehender Figur bei ungefähr 50° Beugung dargestellt. Man mag sich zu dem Humerus den mehr oder weniger aufrecht oder wagrecht gestellten Rumpf hinzudenken (Mittelebene durch punktierte Linien angedeutet. Man vgl. hiermit die Figg. 53a und b auf S. 131).

Die Lage des Verkehrsgebietes der Hand im ganzen gegenüber dem Stamm hängt ab von der Lage des Ellbogengelenkes und der Richtung der Flexions-Extensionsachse. Diese beiden Momente aber sind durch die Stellung des Humerus im Schultergelenk und durch die Lage und Stellung des Schulterblattes zum Stamm bestimmt. Dabei

ist ferner die Form des Humerus und des Schulterblattes von Bedeutung insofern, als die Stellung des unteren Gelenkkörpers des Humerus zum oberen und die Stellung der Schulterblattpfanne zum Schulterblatt variieren kann. Diese Verhältnisse in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit voneinander müssen einer genaueren Prüfung unterzogen werden.

Vor allem sollte man sich nach einem Verfahren umsehen, welches ermöglicht, die Stellungen des Schulterblattes zum Rumpf, des Humerus und unteren Humerusendes zum Schulterblatt und des Vorderarmes mit der Hand zum Humerus genauer zu definieren und im Modell oder kartographisch zu veranschaulichen. Das Modell oder die Karte müßten für jedes Gelenk mindestens die Mittelstellung und die Grenzen des möglichen Verkehrs, also die Extremstellungen zur Darstellung bringen. Was das Ellbogengelenk und das Schultergelenk betrifft, so haben wir die Hilfsmittel der Veranschaulichung der Stellungen in diesen Gelenken und ihres Verkehrsgebietes bereits besprochen. Es muß nur besonderes Gewicht gelegt werden auf genauere Ermittlung der extremen Beuge- und Streckstellung und der Mittelstellung des Vorderarmes zum Humerus (kubitale Abbiegungswinkel) und ebenso auf genauere Feststellung der Lage der Humeruslängslinie und der Flexions-Extensionsachse des Ellbogengelenkes zum Schulterblatt in der Mittelstellung des Schultergelenkes und in den Extremstellungen. Was aber die Lage und Stellung des Schulterblattes zum Stamm anlangt, so handelt es sich in erster Linie um die Richtung der Hauptebene und einer bestimmten Hauptlinie. Die absolute Lagebestimmung der Schultergelenkmitte kommt weniger in Betracht. Die Richtung der Schulterblatthauptebene wird gekennzeichnet durch die Richtung einer beliebigen darauf senkrecht stehenden Linie. Man kann sie an einem Globus darstellen durch einen Radius, welcher das Gradnetz der Kugeloberfläche in einem bestimmten Punkte trifft. Das Gradnetz denkt man sich zum Thorax fest und so angeordnet, daß die Polachse der Mittellinie des Thorax parallel ist, die Äquatorialebene zu derselben senkrecht steht, der O-Meridian der Meridianebene des Thorax parallel läuft. Die Richtung der Hauptlinie oder Mittellinie des Schulterblattes läßt sich als Tangente im Schulterblattpunkt (dem Punkt, in welchem jener Radius das Gradnetz trifft) darstellen.

Sind nun die Grenzlagen und die Mittellage des distalen Humerusendes zur Hauptebene und zur Hauptlinie des Schulterblattes bekannt, so kann man sie auf eine kleine Exkursionskugel des Schultergelenkes mit Gradnetz, das zum Schulterblatt fest ist, einzeichnen, und kann diese Kugel auf dem größeren Globus, welcher den Thorax darstellt, in verschiedene Stellungen bringen, so daß jeweils der Mittelpunkt der kleineren (Schultergelenk-) Kugel in den Radius des Schulterpunktes der größeren Kugel zu liegen kommt, die Hauptebene des Schulterblattes im Diagramm der kleinen Kugel zu diesem Radius senkrecht steht, und die Hauptlinie des Schulterblattes, die ebenfalls im Diagramm der Schultergelenkkugel markiert ist, dem bekannten Verlauf dieser Linie auf der Thoraxkugel parallel läuft. Im Diagramm der Schultergelenkkugel kann noch für jede Lage des Ellbogenpunktes der Verlauf der Flexions-Extensionsachse resp. der Flexions-Extensionsebene eingezeichnet werden.

Auf dem Globus, welcher dem Thorax entspricht, lassen sich die Grenzlagen des Schulterblattpunktes und der Schulterblatthauptlinie in das Gradnetz einzeichnen und alles das, bestimmte Kombinationen von Stellungen des Schulterblattes und des Humerus nebst der Richtung der Flexions-Extensionsebene im Ellbogengelenk, läßt sich nun auch kartographisch darstellen und veranschaulichen. Man erhält also auf diese Weise schließlich auch einen Überblick über die jeweiligen Extremlagen der Flexions-Extensionsebene des Ellbogengelenkes gegenüber dem Stamm. Es bleibt dann nur noch übrig, wenn man das Modell nicht weiter komplizieren will, daß man sich die mittlere Beugestellung des Vorderarms und die Grenzlagen der Beugung und Streckung in die Flexions-Extensionsebene des Ellbogengelenkes hineindenkt.

Mit Hilfe der hier erläuterten Normen wird sich ein genauerer Vergleich der je nach Individualität, Alter und Beruf variierenden Verhältnisse und der Abweichungen, welche bei Mensch und Tier bestehen, durchführen lassen. Von ganz besonderem Interesse ist dabei noch die Frage, wie es sich mit der proximalen Abbiegung des Humerus gegenüber seiner Längslinie verhält, ob vielleicht am Schulterblatt die Pfanne gegenüber der Hauptlinie des Schulterblattes abgedreht ist, ob bei der Mittelstellung des Humerus im Schultergelenk, wo ja die auf den Mitten der beiden Gelenkflächen errichteten Normalen ungefähr zusammenfallen müssen, die Richtung des abgebogenen oberen Humerusendes der Pfanne zugewendet ist und wie sich die Ebene der oberen Humerusabbiegung zur Ebene der unteren Abbiegung resp. zu der Flexions-Extensionsebene des Ellbogengelenkes verhält.

β) Die Ausbildung der Gelenkstellungen der Extremitäten und die sog. Torsion des Humerus und des Femur.

Bei aufrechter gerader Körperhaltung und Ruhehaltung des herabhängenden Armes steht das Schulterblatt im allgemeinen so zum Körper, daß die horizontale Schnittlinie seiner Hauptebene mit der Medianebene einen nach vorn offenen Winkel von 60° bildet. Die Beugeseite des Ellbogengelenkes aber ist (bei mittlerer Längsrotationsstellung des Oberarmes) nach vorn und etwas nach innen gerichtet, die Flexions-Extensionsachse bildet mit der Medianebene einen nach vorn offenen Winkel von ca. 80° (H. v. Meyer). Die Ebene der oberen Humerusabbiegung (Hauptebene des Humerus) fällt ziemlich genau mit der Hauptebene des Schulterblattes zusammen, namentlich wenn man den Oberarm noch etwas dem axillaren Schulterblattrand nähert; sie bildet also mit der Beugungsebene des Ellbogengelenkes resp. mit der Ebene der unteren Humerusabbiegung einen Winkel von 90—70° und mit der Flexions-Extensionsachse einen Winkel von 0—20°. Um 90—70° erscheint das untere Ende des Humerus mit der Flexions-Extensionsebene nach innen verdreht gegenüber einem Humerus, an welchem die Ebene der unteren

Abbiegung mit der Hauptebene zusammenfällt, die Beugeseite dem Schulterblatt direkt abgewendet ist; gegenüber einem Humerus aber, bei welchem die Flexions-Extensionsachse mit der Hauptebene der oberen Abbiegung zusammenfällt, und der laterale Condylus nach der entgegengesetzten Seite sieht, wie der Humeruskopf, erscheint das untere Ende um 0—20° nach außen verdreht. Nur im Vergleich zu einem Geschöpf, an welchem der Epicondylus lat. an der gleichen Seite gelegen wäre wie der Humeruskopf, erscheine der Humerus des Menschen mit seinem unteren Ende um 180—160° nach innen torquiert. Es ist nun allgemein üblich, von einer Torsion des Humerus zu sprechen

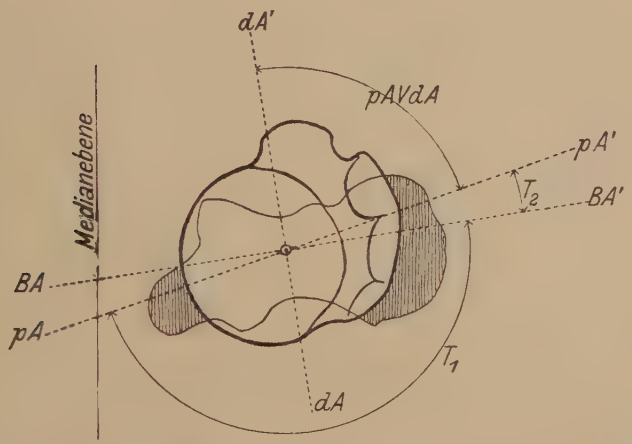


Fig. 135. Orthoskopisches Bild des Humerus, in der Richtung seiner Mittellinie von oben geschen; der untere Gelenkkörper teilweise schraffiert, das obere Ende durchsichtig gedacht mit stark ausgezogenen Konturen. $BA-BA'$ Beugungsachse des Ellbogengelenkes, $pA-pA'$ Ebene der proximalen Abbiegung, $dA-dA'$ Ebene der distalen Abbiegung (Beugungsebene des Ellbogengelenkes), $pA \vee dA$ Divergenzwinkel der Abbiegungsebenen, T_1 Torsionswinkel nach Gegenbaur u. a., T_2 Torsionswinkel nach R. Fick u. a.

und einen der genannten Winkel als Torsionswinkel zu bezeichnen. Mit diesem Ausdruck ist notwendigerweise die Vorstellung verbunden, daß gegenüber einem primären Verhalten in der Ontogenese oder Phylogenese eine wirkliche Verdrehung des Humerus stattgefunden hat, und je nach dem Zustand, den man als Ausgangspunkt des Vorganges annimmt, muß konsequenterweise die Definition des Torsionswinkels verschieden ausfallen. In Wirklichkeit aber ist einstweilen die Frage, welche Stellung der Achse oder Beugungsebene des Ellbogengelenkes zur proximalen Humerusabbiegung als die primäre anzusehen ist, gar nicht gelöst, weder für die Phylogenese noch für die Ontogenese. Ferner ist es durchaus nicht sicher, daß wirkliche Torsionsvorgänge an der Extremität, wenn sie stattfinden, voll und ganz in der Änderung jener

Winkel ihren Ausdruck finden, oder daß die Winkeländerung einzig nur durch wirkliche Torsion des Humerus zustande kommt. Es scheint mir deshalb durchaus angezeigt, den Ausdruck Torsion zur Bezeichnung der Stellung der Beugungsebene oder Beugungsachse des Ellbogengelenkes gegenüber der oberen Humerusabbiegung, wie er bis jetzt verwendet wurde, und die Bezeichnungen Torsionswinkel gänzlich fallen zu lassen, und schlage ich vor, statt dessen von der Divergenz der Ebenen der oberen proximalen Abbiegung und der unteren distalen Abbiegung des Humerus und von dem Divergenzwinkel der Abbiegungsebenen des Humerus (pA\/dA) zu sprechen, wobei angenommen wird, daß die distale Abbiegung in der Ebene der Flexion-Extension des Ellbogengelenkes stattfindet, was im allgemeinen zutrifft.

Fig. 135 zeigt, was nach den verschiedenen Autoren unter Torsionswinkel zu verstehen und wie unser Divergenzwinkel zu messen ist. Das eine Maß läßt sich aus den andern leicht berechnen. So haben wir die folgende **Tabelle für die Divergenzwinkel** zusammengestellt.

In Fig. 135 ist

pA—pA' = Hauptebene des Humerus (Ebene der proximalen Humerusabbiegung).
dA—dA' = Flexionsebene des Ellbogengelenkes (Ebene der distalen Humerusabbiegung).
T_1 = Torsionswinkel nach Martins, Gegenbaur, Hultkrantz, Lambert u. a.
T_2 = Torsionswinkel nach R. Fick und anderen deutschen Autoren.
pA\/dA = unser Divergenzwinkel der Abbiegungsebenen der Humerusenden.

Säuger:	pA\/dA
Tiger (nach Ludkewitsch)	5°
Pferd und Katze (Ludkewitsch)	10°
Rind und Schwein (Ludkewitsch)	15°
Gibbon und Orang-Utan (Lambert)	22—30°
Orang (Ludkewitsch)	30°
Cynocephalus (Gegenbaur)	39°
Schimpanse (Ludkewitsch)	40°
Gorilla (R. Fick)	45°
„ (Lambert)	51—66°
„ (Ludkewitsch)	70°.

Erwachsener Mensch:	
Niedere Rassen (Broca)	40—50°
Neanderthaler (Klaatsch)	55°
Steinzeitskelette (Broca, Hultkrantz)	61,5° im Mittel
Skelette aus dem Schweizersbild (Lambert)	49° „ „
Malaye (Gegenbaur)	39°
Neger (Gegenbaur)	58°
Rezente Ozeanier (Lambert)	51,2°
„ Afrikaner (Lambert)	55,1°
„ Amerikaner (Lambert)	59,4°
„ Lappen (Hultkrantz)	63,3°
„ Europäer (Gegenbaur)	78°
Höhere Rassen (Broca)	70—75°
Europäer (Ludkewitsch)	70—90°
31 Männer aus Schweden (Hultkrantz)	70,8°
21 Frauen „ „ („)	76,5°
Große Variationsbreite. Beobachtetes Minimum und Maximum	23 und 92°.

Ontogenetische Abänderung beim Menschen: pA∨dA

8—9wöchentlicher Embryo (Lambert)	2°
16—33 Wochen (Gegenbaur)	47,3°
24—36 Wochen (3—17 cm Nackensteißlänge) (Lambert)	45°
Ältere menschliche Föten und Neugeborene (Gegenbaur)	43°
Neugeborene (Broca)	45,2°
Kinder aus dem 1. Lebensjahr (Gegenbaur)	52°
„ „ „ „ „ (Lambert)	56,5°
„ „ „ 2.—4. Lebensjahr (Broca)	58,2°
„ „ „ 4.—7. „ („)	60,6°
Erwachsene Europäer	70% u. mehr.

Geschlechtsunterschiede:

31 Schweden (Hultkrantz)	70,8°
21 Schwedinnen (Hultkrantz)	76,5°.

Auch Broca und Lambert haben den Winkel beim Weib im Durchschnitt größer gefunden als beim Mann.

Unterschiede zwischen rechts und links:

Lappen (überwiegend Linkser)	rechts 65°,	links 61,2°	(Hultkrantz)
Steinzeitskelette	„ 57,6°,	„ 65,1°	„
Rezente Schweden	„ 64,4°,	„ 72,2°	„
„ Schwedinnen	„ 75,0°,	„ 79,7°	„

Nach Broca und Lambert zeigt in der überwiegenden Prozentzahl der linke Humerus beim Menschen und bei anthropoiden Affen den größeren Winkel.

„Für die Humeri der niederkalifornischen Indianer hat Rivet nachgewiesen, daß die schwächsten Knochen die größte Torsion besitzen" (Martin, Lehrb. d. Anthropol. 1914).

Wir müssen darauf verzichten, die Entwicklung der Lehre von der Torsion der Extremitäten, welche mehr oder weniger das ganze Problem der Extremitätenentwicklung in sich schließt, an dieser Stelle historisch und kritisch zu beleuchten. Eine gute zusammenfassende Darstellung hat Martins' Schüler Lambert (I.-D. Zürich) gegeben. Es seien nur einige wenige Hauptpunkte hervorgehoben.

Eine gewisse Übereinstimmung im Bau der vorderen und der hinteren resp. oberen und unteren Extremität ist längst bei Tier und Mensch aufgefallen, doch kann selbstverständlich nicht von Homologie die Rede sein. Schon Vicq d'Azyr (1784) legte zum Vergleich die rechte vordere Extremität neben die linke hintere und fand dann eine bessere Übereinstimmung. Dies beruht darauf, daß die vordere und hintere Extremität der gleichen Seite in gewissem Grade symmetrisch zueinander (anteroposteriore Symmetrie) gebaut sind. Ellbogen und Knie sehen gegeneinander.

Die Tibia entspricht bei dieser Betrachtungsweise der Ulna und die Fibula dem Radius. Bei Hand und Fuß aber hört diese antero-posteriore Symmetrie auf.

Eine antero-posteriore Symmetrie ist auch von Blandin (1835), Chaveau, Wymann (1868), Foltz (1863) angenommen worden: letztere haben auch die Konsequenz gezogen, daß der Daumen der kleinen Zehe entspricht etc.

Nun ist man aber schon lange geneigt, sich die vordere und hintere Extremität auf primitiver ontogenetischer und phylogenetischer Entwicklungsstufe nicht symmetrisch zueinander, sondern annähernd kongruent mit übereinstimmender Anordnung korrespondierender Anlagen in allen drei Richtungen des Raumes zu denken. Dann muß man aus einem solchen Zustand durch Gegeneinanderdrehung der ganzen Extremitäten, oder aber durch Drehung von mittleren oder von distalen Teilen derselben (Torsionen) den definitiven Zustand ableiten.

Martins (1857) muß als der erste Vertreter einer eigentlichen Torsionstheorie angesehen werden. Der spiralige Verlauf des Nervus radialis um den Humerus erschien ihm als Zeichen einer vollzogenen Einwärtstorsion des unteren Humerusendes gegenüber dem oberen um 180°; macht man sie rückgängig, so kommt die Ellenbeuge wie die Kniebeuge nach hinten zu liegen; die Ulna findet sich dann in ähnlicher Lage wie die Tibia; der Radius liegt hinter der Ulna, aber allerdings einwärts davon, ebenso wie der ihr entsprechende Daumenrand nach innen zu liegen kommt. Das distale Ende des Radius müßte der Tibia, das der Fibula der Ulna entsprechen (im Gegensatz zu den proximalen Enden).

Es ist nicht recht einzusehen, warum allgemein angegeben wird, Martins habe bloß eine „virtuelle" Torsion angenommen, da er doch sicher geglaubt hat, durch Annahme der Torsion an der vorderen Extremität eine ursprüngliche Übereinstimmung im Bau der vorderen und hinteren Extremität plausibel machen zu können. Gegenbaur kommt dann allerdings das Verdienst zu, eine wirkliche Änderung des sog. Torsionswinkels des Humerus in der Ontogenese des Menschen und in der Tierreihe aufgefunden zu haben (1868). Er zeigte, daß der

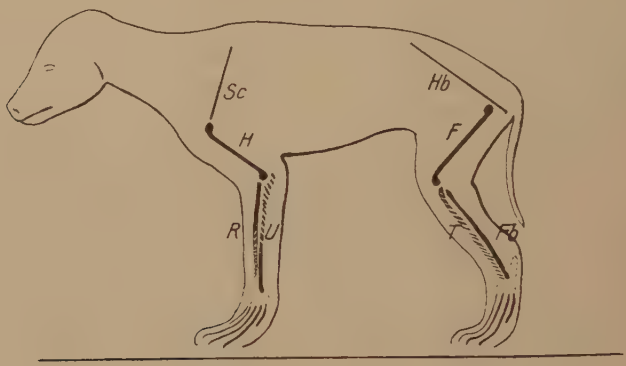


Fig. 136.

Winkel, den die Flexions-Extensionsachse des Ellbogengelenkes mit der Abbiegungsebene des oberen Humerusendes hinten außen bildet, bei den meisten Säugern ungefähr 90° beträgt, bei Affen schon erheblich größer wird, beim Aufsteigen von niederen zu höheren Menschenrassen sich noch weiter vergrößert, und in der Entwicklung des Menschen selbst um ca. 35° zunimmt. Endlich hat er dieses Verhalten mit der Umstellung des Schulterblattes aus der sagittalen in eine mehr frontale Stellung in Zusammenhang gebracht. Es scheint sich also um eine in gleichem Sinn fortschreitende Änderung in der Ontogenese und Phylogenese zu handeln. Doch wird als Ausgangspunkt des Prozesses dabei ein Zustand angenommen, wie er bei den ausgebildeten vierfüßigen Säugern mit sagittal gestellter Scapula vorkommt. Das kann kaum der allgemeine ursprüngliche Zustand in der Entwicklung der Extremität resp. der Humerusabbiegungen gewesen sein.

Bei einer Drehung um 180° wird die Anordnung der nebeneinander geordneten Teilchen eines Körpers immer in zwei Richtungen des Raumes umgekehrt. Zeigt sich also an der Hand und am Fuß schon in der primitiven Anlage ein übereinstimmender Unterschied zwischen einem Kranial- und Kaudalrand und einer Dorsal- und Ventralseite, so müßten infolge der bloßen Gegeneinanderdrehung der Extremitäten oder ihrer Endteile, nicht bloß Knie und Ellbogen, sondern auch die ursprünglich dorsalen Seiten von Hand und Fuß gegeneinander gedreht werden. In Wirklichkeit aber bleibt gerade die Ähnlichkeit in der Lagerung der korrespondierenden Teile an Hand und Fuß länger erhalten und beide werden in über-

einstimmender Weise zuletzt pronatorisch gedreht und kranialwärts abgebogen. Deshalb wird Hatschek den Tatsachen der Entwicklung besser gerecht, indem er annimmt, daß nur die mittleren Teile der Extremitäten an der nachträglichen Gegeneinanderdrehung teilnehmen.

Nach dem heutigen Stand der Forschungen sind die vordere und hintere Extremität annähernd homodyname Bildungen, welche aus ähnlichen Anlagen, die aber von verschiedenen Gruppen von Körpersegmenten geliefert werden, sich entwickeln. Sie entstehen von den Fischen aufwärts als warzenförmige Auswüchse an der vorderen und hinteren Grenze des Rumpfes, richten sich in der Folge ventralwärts und zeigen bald, wenigstens in ihrem Endteil, eine Verbreiterung und Abplattung mit äußerer dorsaler und innerer ventraler Breitseite; der proximale Teil wird zu einem schmaleren, mehr oder weniger gerundetem Stiel. In der Extremität tritt ein knorpliges, gegliedertes Skelett auf, dessen Elemente in einer einzigen Schicht angeordnet sind. Im proximalen Teil des Stieles bildet sich ein einziger Skelettstab (Humerus und Femur); im folgenden schon etwas verbreiterten Teil des Stieles treten im allgemeinen zwei Knorpelstücke, ein kraniales (Radius und Tibia) und ein kaudales (Ulna und Fibula) auf; darauf folgen Carpus und Tarsus und im Rand der Endplatte auseinanderweichende, sich gliedernde Skelettstrahlen in wechselnder Zahl. Der verbreiterte Endteil des Skelettes trennt eine dorsale und ventrale Muskulatur, während die Muskelanlagen im proximalen Teil des Stieles um den axialen Skelettstab herum zusammengreifen. Soweit, und auch in gewissen Zügen der Anordnung der ersten Gefäße und Nerven zeigt sich eine Übereinstimmung im Bau der beiden Extremitäten. In der weiteren Entwicklung treten Unterschiede zwischen der vorderen und hinteren Extremität deutlicher hervor und auch die charakteristischen Verschiedenheiten zwischen den Extremitäten der verschiedenen Tiere prägen sich verhältnismäßig rasch aus. Bei den Säugern ist die Extremität schon bei der Ausbildung der Endplatte deutlich der Rumpfwand entlang nach unten (ventralwärts) gerichtet und zeigt im Stiel zunächst eine mehr oder weniger ausgesprochene Längskonvexität nach außen. An der vorderen Extremität tritt nun aber immer deutlicher eine kaudalwärts gerichtete Ellbogenknickung hervor, indem der Oberarm ventral- und kaudalwärts, der Vorderarmteil ventral- und kranialwärts absteigt. Die Hand, an welcher die Fingerzacken aufgetreten sind, wird mehr und mehr proniert; bald erreichen sich die Hände vor dem Leib. Erst relativ spät tritt (bei Tieren) die Abbiegung der pronierten Hand nach dem Kopf zu in Erscheinung.

An der hinteren Extremität bleibt die Biegung des Stieles mit ihrer Konvexität länger direkt nach außen gewendet; dann richtet sich der Unterschenkelteil mehr und mehr kaudalwärts und ventralwärts; erst relativ spät verläuft der Oberschenkel deutlicher im Sinn der Flexion kranialwärts ventralwärts. Die Endplatten, anfänglich kranialwärts divergent, stellen sich früher oder später pronatorisch um. Auch hier tritt erst relativ spät die Abknickung des Endteiles gegen den Kopf hin deutlicher hervor. Eine Art antero-posteriorer Symmetrie

ist nun hergestellt, indem Knie und Ellenbogen mehr oder weniger einander zugewendet sind; die Endteile aber sind zuletzt beim Tier, in Abweichung von der antero-posterioren Symmetrie, beide proniert und kranialwärts abgebogen (Fig. 136).

Ein besonderes Interesse beansprucht die Ausbildung der Knie- und Ellenbeuge. Eine weit verbreitete Annahme geht dahin, daß eine zunächst nach außen gewendete Konvexität an der vorderen Extremität durch Auswärtsrotation des unteren Humerusendes zu einer hinteren, an der hinteren Extremität durch Einwärtsrotation zu einer vorderen werde. Und zwar dachte man sich diese Rotationen wesentlich durch Torsion des Humerus und Femur zustande gebracht. Der spiralige Verlauf des Nervus radialis sollte wenigstens z. T. hiedurch bedingt sein. (Er beweist aber nichts für eine Einwärtstorsion des Humerus, ist vielmehr bloß die Folge der Ausbildung der Ellenbeuge, durch welche der Radialis genötigt wird, den Humerus zu überkreuzen, um zu der Dorsalseite des Vorderarmes zu gelangen). Die Anfangsbiegung des Humerus und Femur würde durch diese Torsion nicht wesentlich beeinflußt werden, das Ende der Extremität aber müßte die Drehung mitmachen.

Holl (1891) ist dieser Lehre entgegengetreten. Er suchte nachzuweisen, daß die Extremitäten sich im ganzen drehen, die hintere im Hüftgelenk, die vordere gegenüber dem Schulterblatt und mit demselben. Für die Drehung im Hüftgelenk spreche die Torsion der Kapsel im aufrechten Stand des Menschen. Holl übersieht, daß in der Mittelstellung des Femur im Hüftgelenk, bei welcher das Knie ebenfalls kranialwärts sieht, die Hüftgelenkkapsel nicht torquiert ist. Ebensowenig ist am Schultergelenk eine Torsion nachweisbar und wie die Verschiebungen des Schulterblattes zur Auswärtsdrehung des Armes beitragen können, ist schlechterdings nicht ersichtlich.

Aber auch bei Annahme einer Torsion im Humerus und Femur selbst müßte doch der ganze Endteil der Extremität sich mitdrehen, an der oberen nach außen, an der unteren nach innen, was beides zunächst nicht stattfindet. Die Ausbildung der beiden Knickungen nach fast entgegengesetzten Richtungen muß also in anderer Weise vor sich gehen. Es sieht aus, als ob sich bloß die mittleren Teile der Extremitäten außen herum gegeneinander drehen. In Wirklichkeit aber ist der Vorgang nicht so einfach und erfordert genaueres Studium.

Zunächst muß man sich über die Richtung, nach welcher hin die Knickung mit Bezug auf das Skelett erfolgt, orientieren. Es handelt sich wesentlich um eine Kantenknickung, aber doch meist nicht um eine reine Knickung dieser Art. Die Abbiegung des Vorderarmes geschieht nach der radialen, aber mehr oder weniger auch nach der volaren Seite. Bei einigen Vierfüßlern (Tiger, Hirsch) liegt das proximale Ende des Radius beim ausgewachsenen Körper genau an der Beugeseite, die Ulna an der Streckseite; dann gibt es Fälle, in denen sich ein Processus coronoides ulnae schmaler oder breiter innen am Radius nach der Beugeseite vorschiebt, bis zum Verhalten, wie wir es beim Menschen finden; die Beugung geschieht hier also mehr und mehr nach der Volarseite hin.

Diese verschiedene Stellung des Radiusköpfchens zum proximalen Ende der Ulna ist von Albrecht (1875) aufgefaßt worden als Zeichen verschieden weit fortgeschrittenen Herüberwanderns vor dem Humerusende gegen die laterale Seite hin. Auch Braus nimmt einen solchen Herumführungsprozeß (circumductio) an. Unsere Deutung des Vorganges ist eine etwas andere. Wir nehmen an, daß die Ebene der Beugung und Streckung primär variiert; dementsprechend bilden sich die verschiedenen Teile des Humerusgelenkkörpers durchaus nicht immer aus den gleichen Teilen der Anlage. Insbesondere wechselt die Richtung der Rollenkanten und Ganglinien. Man braucht dann keine weitgehende Verschiebung des Radiusköpfchens am Humerus anzunehmen, selbst nicht in dem extremen Fall, wo Processus coronoides ulnae und Radiusköpfchen gleich weit nach der Beugeseite vorragen.

An der hinteren Extremität biegt der Unterschenkel gegenüber dem Oberschenkel nach der fibularen Seite, aber auch zugleich nach der ventralen (plantaren Seite) ab. Auch hier sind kleine Unterschiede nachweisbar. Die Schrägstellung der Knickungs- und Beugungsebene des Ellbogens und Knies zu der Ebene, welche beide Skelettstücke des Vorderarmes und Unterschenkels nahe dem Ellbogen und Kniegelenk bilden, scheint im allgemeinen schon bei der ersten Ausbildung der beiden Beugen deutlich zu sein. Dabei liegt die Knickungsebene ziemlich gleichartig ungefähr der Rumpfwand parallel und sagittal, während die Skelettebene aus der ursprünglichen Stellung in Längsebenen des Körpers herausgedreht ist. Man hat den Eindruck, als ob durch Stauchung am radialen resp. fibularen Rand der Beugeseite dieser Rand zum Ausweichen nach außen (nach der Dorsalseite) gezwungen ist, was vielleicht am Humerusende zu etwelcher Auswärtstorsion, am Femurende zu etwelcher Einwärtstorsion führt. Das proximale Ende des Humerus und Femur und andererseits Hand und Fuß wären nicht beteiligt, wenn die beugenden Kräfte zwischen diesen Enden angreifen.

An der vorderen Extremität ist die Ausbildung der Ellbogenknickung von einer Annäherung des Humerusschaftes an den Rumpf nach hinten im Sinne der Skapularflexion begleitet. Hand in Hand damit scheint sich die proximale Abbiegung des Humerus auszubilden. Diese geht nach der Scapula hin; der abgebogene Teil verläuft annähernd in der Hauptebene der Scapula, die anfänglich auch beim Menschen mehr sagittal als frontal gestellt ist. Ich möchte die Ausbildung dieser Biegung und die Umstellung der Richtung des Humerusschaftes auf die Einwirkung der Muskeln zurückführen. Die tiefen Schulterblattmuskeln, die sich nahe dem Gelenk ansetzen, halten den Anfangsteil des Humerus mit seiner Längsrichtung in der Ebene des Schulterblattes fest. Die weiter distal am Humerus oder sogar am Vorderarm sich ansetzenden Muskeln (Pectoralis major, Deltoides, Latissimus, Coracobrachialis, Biceps und langer Kopf des Triceps beim Menschen) stellen sich den Humerusschaft in ihre mittlere resultierende Zugrichtung ein, welche näher am Rumpf ventral- und kaudalwärts absteigt.

Ist hier die Bedeutung der Muskeln und ihrer ungleichzeitigen Entwicklung fast evident, so liegt es nahe, auch für die Ausbildung der Ellenbeuge in erster Linie die Muskulatur verantwortlich zu machen. Die zweigelenkigen Muskeln, der Biceps und der lange Kopf des Triceps liegen sich am Ellbogengelenk an der radialen und ulnaren Seite gegen-

über. Mit der Skapularflexion des Humerus muß ersterer sich stärker spannen, letzterer erschlaffen; so bringt die Beugung im Schultergelenk die Neigung zur Beugung des Ellbogengelenkes nach der radialen Seite mit sich.

Ist einmal der erste Anfang der Beugung gegeben, so rücken die radialen dorsalen Muskeln nach der Beugeseite vor und verstärken die beugenden Einflüsse. Der M. brachialis aber repräsentiert die Komponente, welche zur Beugung nach der Volarseite wirkt.

Unserer Auffassung nach liegen also die proximale und die distale Abbiegung schon bei ihrer ersten Entstehung in verschiedenen Ebenen, so daß von vornherein ein Divergenzwinkel vorhanden ist, ohne daß ein wirklicher Torsionsvorgang stattgefunden hat.

An der hinteren Extremität kann die proximale Abbiegung des Femur in ähnlicher Weise auf den Gegensatz zwischen den Muskeln, welche sich nahe dem Schenkelhals ansetzen, und den weiter entfernt angreifenden Muskeln (Adductoren, Glutaeus maximus, Tensor, Rectus femoris, Sartorius, lange Kniegelenkbeuger am Oberschenkel) zurückgeführt werden. Die letzteren bewirken die Abbiegung des Femurschaftes gegenüber dem in der Richtung nach außen festgehaltenen proximalen Femurende nach der Ventralseite zu. Was den ersten Anstoß geben mag zur Ausbildung der Kniebeuge, wage ich einstweilen nicht zu diskutieren; nur soviel dürfte wahrscheinlich sein, daß auch hier vor allem die Einflüsse der Muskulatur in Betracht kommen. Auch hier besteht ein Divergenzwinkel, sobald die beiden Abbiegungen angedeutet sind, und zwar ist er größer als an der oberen Extremität und beträgt von vornherein nahezu 90°. Daß der Winkel nicht genau 90° beträgt ist ebenso wenig ein Grund, eine Torsion des Femur oder eine Drehung im Hüftgelenk anzunehmen, als die Tatsache, daß die Ebene der Kniebeuge mit der Ebene der proximalen Femurabbiegung nicht genau zusammenfällt. Höchstens kann in der weiteren Entwicklung als ein Moment zur Bewirkung einer Einwärtsdrehung der Kniegelenkgegend gegenüber den Enden des Oberschenkels und Unterschenkels das Dorsalwärtsausweichen der fibularen Randteile der Kniegelenkgegend infolge der Stauchung bei der Beugung angesehen werden. Soweit dieser Vorgang statthat, könnte dann eine wirkliche Torsion des Femur in Frage kommen. Es ist aber wohl zu bemerken, daß an der Drehung des Knies das Ende der Extremität nicht teilnimmt, also im Unterschenkel eine gegensinnige Torsion auftritt. Die Abbiegung des Fußes nach der kranialen Seite und seine pronatorische Drehung sind weitere Vorgänge, die für sich ins Auge gefaßt werden müssen.

Es bleiben nun noch die Verhältnisse am Schulterblatt zu besprechen. Sobald das Schulterblatt knorplig angelegt ist, lassen sich dieselben durch direkte Präparation feststellen. Von Vorteil ist es, wenn direkt kranial vom Schlüsselbein und Schulterblatt ein glatter Querschnitt zur Abtrennung des Kopfes angelegt wird. Schon Henke und Reyher haben angegeben (1874), daß bei menschlichen Embryonen am Schluß des 2. Fetalmonates der Humeruskopf wie beim erwachsenen

Hund nach rückwärts (d. h. in sagittaler Abbiegung dorsalwärts) sieht. Ich finde bei einem menschlichen Embryo von 5 mm Distanz zwischen Mitte des Humeruskopfes und Epikondylenlinie (15 mm Distanz zwischen der Verbindungslinie des Oberarmkopfs und dem Steiß und ebenso so großer Distanz zwischen ihr und dem Scheitel) die Hauptlinie des Schulterblattes (Mittellinie ihrer Hauptebene) genau parallel der Mittelebene des Körpers verlaufend. Die Hauptebene des Schulterblattes konvergiert durch diese Linie hindurch kranialwärts etwas mit der Medianebene des Körpers. Die Ebene der proximalen Humerusabbiegung geht durch den kranialen Rand des Schulterblattes, die Spitze des Schulterblattes weicht aus dieser Ebene etwas nach außen ab. Die Beugungsebene des Vorderarmes steht zu der Ebene der proximalen Abbiegung des Humerus in einem Winkel von ca. 40° (Fig. 137 E).

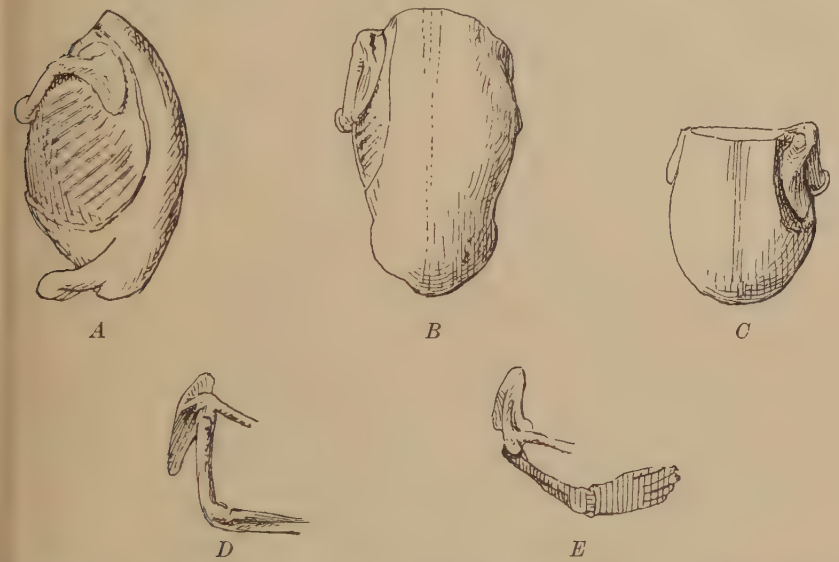


Fig. 137. Menschlicher Embryo von 5 mm Humeruslänge (Distanz der Mitten der Gelenkenden). Schulterblatt und Humerus in *A* und *B* linkerseits, in *C* rechterseits freigelegt. *D* und *E* Skelett der rechten oberen Extremität von der Seite resp. von oben her in der Richtung des Humerus gesehen.

Querschnitte genau senkrecht zur Mittellinie des Thorax würden ergeben haben, daß die beiden Querprofile der Schulterblatthauptebenen genau dorsoventral oder sogar ventralwärts und etwas einwärts verlaufen, und solches zeigt sich auch an Schnittserien durch etwas jüngere Stadien, wenn man das Mittel zwischen beiden Seiten nimmt und von den Biegungen der Schulterblatthauptplatte absieht. An wenig älteren Embryonen (Distanz der Mitten der Humerusgelenkenden 7,5 mm, Schulter-Steißdistanz 20 mm) bilden die beiden Schulterblatthauptebenen resp. ihre Querprofile miteinander bereits einen nach vorn offenen

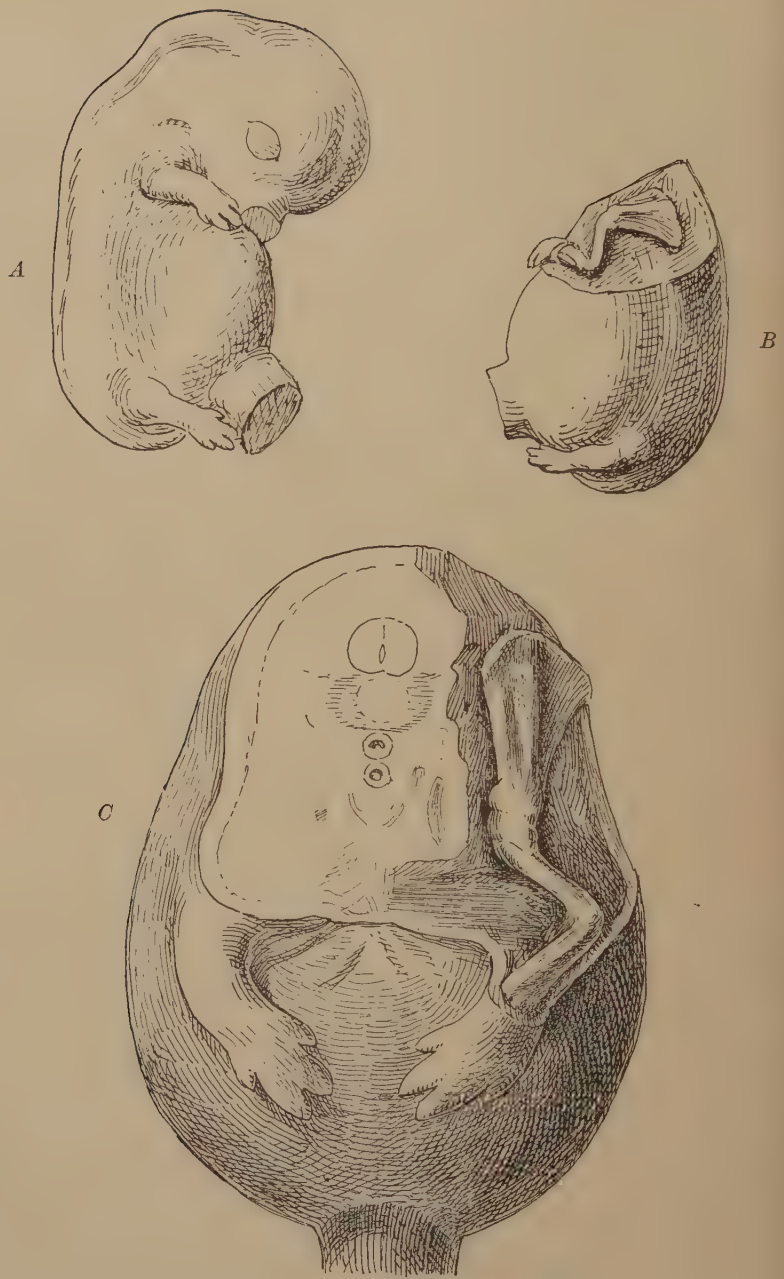


Fig. 138. Schweinsembryo von 2,5 cm Länge.

Winkel von 30°, ihre Konvergenz zur Mittelebene beträgt im Mittel 15°. Die Ellenbeugeebene steht zur Schulterblatthauptebene im Winkel von 75° und wenig kleiner ist der Winkel, den sie mit der Abbiegungsebene des proximalen Humerusendes bildet. Es ist also bemerkenswert, daß der Winkel pA\/dA früh schon erheblich groß und schon bei sagittal gestelltem (resp. nur kranialwärts zur Mittelebene konvergierendem) Schulterblatt deutlich ausgebildet ist, entsprechend der frühzeitigen kranialen und ventralen Konvergenz der Ellenbeugeebenen (Konvergenz der Vorderarme) gegen die vordere Mittellinie hin.

Bei einem menschlichen Embryo von 9,5 mm Abstand der Mitten der Gelenkkörper des Humerus bilden die Querprofile der Schulterblatthauptebenen bereits einen nach vorn offenen Winkel von 60° (das Verfahren zur genauen Bestimmung und Registrierung der Richtung der Schulterblatthauptebene und anderer wichtiger Ebenen an Embryonen von dieser Größe und an älteren Feten wird von Frl. Jaglim veröffentlicht werden). Für die weitere Vergrößerung des Winkels pA\/dA muß allerdings diese rasch zunehmende frontale Umstellung des Schulterblattes im Sinne von Gegenbaur verantwortlich gemacht werden. (Für die erste Ausbildung der Divergenz kommt sie nach dem Obigen nicht in Betracht.) Ferner erscheint es recht wahrscheinlich, daß die Konvergenz der Ellenbeugeebenen nach der kranialen Seite hin durch die Lage des Armes an der vorderen Rundung des Rumpfes und durch den Druck der sich eng anschließenden Amnion begünstigt und noch weiter vergrößert wird. In dieser Beziehung mögen auch unterschiedliche Verhältnisse bei Mensch und Tieren von Wichtigkeit sein.

Bei Schweinsembryonen von 2 cm Länge finde ich das Schulterblatt mit seiner Mittellinie genau sagittal gestellt, nur wenig kranialwärts aus dem dorsoventralen Verlauf abweichend und nur wenig mit der äußeren Fläche kranialwärts gerichtet; es liegt im Vergleich zum Menschen mehr dorsal, neben einem relativ schmaleren Teil des Rumpfes; dafür weicht dann der Humerus kaudalwärts absteigend stärker aus dem sagittalen Verlauf nach außen ab und eine ebensolche kaudale Abweichung zeigt die proximale Abbiegungsebene gegenüber der Hauptebene des Schulterblattes. Die Vorderarme kommen neben einem mehr gleichmäßig breiten Teil des Rumpfes zu liegen, die kraniale Konvergenz der Ellenbeugeebenen ist weniger groß und ihre Divergenz gegenüber der proximalen Abbiegungsebene des Humerus weniger ausgesprochen.

So zeigt sich zwischen Mensch und vierfüßigem Säugetier schon auf der Stufe, wo bei beiden das Schulterblatt sagittal steht, ein charakteristischer Unterschied hinsichtlich der sogenannten Torsion des Humerus. Für die vollkommene Würdigung der Vorgänge am Humerus wird es aber nötig sein, auch noch den Winkel zu berücksichtigen, welchen die Ellenbeugeebene mit der Skelettebene im proximalen Teil des Vorderarmes bildet. Um den Betrag dieses Winkels ist jedenfalls die wirkliche Torsion des Humerus geringer als der Divergenzwinkel der Abbiegungsebenen. Außerdem besteht nach dem Vorhergehenden die Möglichkeit, daß beim Menschen

und beim vierfüßigen Säugetier die Ebene der Ellenbeuge schon bei ihrem Auftreten in einem bestimmten Winkel zur Hauptebene des Schulterblattes und der proximalen Humerusabbiegung steht. Auch diese Abweichung hat mit einer wirklichen Torsion des Humerus kaum etwas zu tun.

Was die Einflüsse betrifft, welche in späterer Zeit noch auf den Divergenzwinkel einwirken können, so halten wir mit Gegenbaur die noch weiter fortschreitende frontale Umstellung des Schulterblattes für bedeutsam. Beim Fetus bestimmte Hultkrantz in seiner vorzüglichen Studie über das Ellbogengelenk den Winekl des Schulterblattes mit der Medianebene auf ca. 30°, beim Erwachsenen auf 50°. Das Schulterblatt drehe sich also im spätembryonalen und postembryonalen Leben mit der Gelenkhöhle noch um ca. 20° lateralwärts. Es ist wohl möglich, daß die Divergenz der Abbiegungsebenen des Humerus in dieser Zeit um ebensoviel zunimmt. Wenn die Mitte der Humerusgelenkfläche in der mittleren Exkursionsstellung des Ellbogens auf der Mitte der Pfanne verbleibt, so muß sich natürlich der Divergenzwinkel nach Maßgabe der Umstellung des Schulterblattes vergrößern. Dabei wird also vorausgesetzt, daß die Flexions-Extensionsebene des Ellbogens ihre Richtung zum Stamm beibehält, das obere Humerusende aber mit dem Schulterblatt geht, wobei die an ihm sich ansetzenden tiefen Schulterblattmuskeln eine Rolle spielen. Ob solches durch eine wirkliche Torsion im Humerus oder durch ein bloßes Nach-Vornwandern der Gelenkfläche am Humeruskopf vermittelt wird, läßt Hultkrantz dahingestellt. Martin (Anthropologie) ist der Meinung, daß es sich um eine Auswärtsdrehung des proximalen Humerusendes gegenüber der Diaphyse handelt. Es sei übrigens bemerkt, daß die Veränderung des Divergenzwinkels nur dann genau dem Betrag der Frontalumstellung des Schulterblattes entsprechen kann, wenn der Humerus genau in der Längsrichtung des Thorax orientiert ist. Bei ventral gestelltem Humerus ist die Umstellung des oberen Humerusendes, auch wenn es der Umstellung des Schulterblattes vollkommen folgt, keine reine Torsion gegenüber der Diaphyse.

Auch noch in späterer Zeit scheinen neben der Umstellung des Schulterblattes Veränderungen in der mittleren Stellung der Beugungsebene des Ellbogengelenkes für die Größe des Divergenzwinkels von Bedeutung zu sein. Bereits Broca hat auf Unterschiede zwischen dem Verhalten der rechten und linken Seite, und beim männlichen und weiblichen Geschlecht hingewiesen. Hultkrantz konnte solche Unterschiede ebenfalls konstatieren. Er weist zur Erklärung derselben auf die Verschiedenheiten hin, welche hinsichtlich der Exkursionen des Oberarmes bestehen. „Der rechte Arm wird von früher Jugend an für stärkere und umfänglichere Bewegungen gebraucht als der linke, und der Knabe hat in seinem regsameren Leben viel größere Exkursionen seiner Gelenke nötig als das Mädchen.“ Da die innere Grenze des Exkursionsgebietes in allen Fällen durch den Rumpf bestimmt und ziemlich gleich ist, so müssen sich die umfänglicheren Exkursionen wesentlich in der Ausdehnung des Verkehrsgebietes nach außen und in einer Auswärtsverschiebung der mittleren Exkursionsstellung äußern.

Dies scheint mir besser in Übereinstimmung zu stehen mit dem Vorhandensein eines kleineren Divergenzwinkels am rechten Arm im Vergleich zum linken, und beim männlichen Geschlecht im Vergleich zum weiblichen, als die Annahme von R. Fick, nach welcher das Verkehrsgebiet des Ellbogens gleich bleibt und nur die Haltung der Schultern eine verschiedene ist.

In Wirklichkeit wird es sich wohl so verhalten, daß bald mehr die Haltung der Schultern, bald mehr der Divergenzwinkel den verschiedenen Gebrauchsweisen des Armes sich anpaßt. Von vornherein ist wahrscheinlich, daß weder die verschiedene Lage des Verkehrsgebietes des Ellbogens (der bevorzugten Stellungen des Oberarmes), noch die verschiedene Gewohnheitshaltung der Schultern von einer genau entsprechenden Veränderung des Divergenzwinkels begleitet ist. Außerdem muß der Nachweis einer solchen Korrelation so gut wie unmöglich gemacht werden durch die Unsicherheit und Willkürlichkeit, welche bei der Bestimmung der proximalen Abbiegungsebene besteht. Bei unseren Messungen legen wir diese Ebene, beiläufig gesagt jeweils durch die Mitte des Humeruskopfes und durch die Grenze zwischen der vorderen und mittleren Facette des Tuberculum majus (höchster Punkt des letzteren).

Daß die Größe des Divergenzwinkels durchaus nicht einzig von der Stellung des Schulterblattes abhängt, ergibt sich u. a. auch aus dem Befunde von Hultkrantz an 12 Skeletten von Kyphotischen. Hier stehen die Schulterblätter nach der Schätzung von Hultkrantz im Mittel im Winkel von 38° zur Medianebene. Der Divergenzwinkel aber zeigte sich im Mittel nur wenig kleiner als in der Norm. Ich selbst habe die Skelette von zwei Individuen mit starker rechtsseitiger Dorsalkyphose untersucht, bei welchen das Schulterblatt linkerseits mehr frontal, rechterseits mehr sagittal gestanden haben muß. Hier zeigte der Humerus im einen Fall links einen Divergenzwinkel von 87, rechts einen solchen von 84°; im anderen Fall betrugen die Winkel links 98, rechts 95°. Wenn der Unterschied auch dem Sinn nach der Theorie entspricht, so ist er doch auffallend gering und bei der Unsicherheit der Messung sogar zweifelhaft.

γ) Die verschiedenen Arbeitsleistungen der oberen Extremität.

1. Allgemeines.

Während beim Menschen die unteren Extremitäten hauptsächlich die Funktion der Unterstützung und der Fortbewegung des Körpers im Stehen, Gehen, Laufen, Springen usw. übernehmen, können die oberen Extremitäten einer ganzen Menge besonderer Verrichtungen dienstbar gemacht werden. Neben der gelegentlichen Verwendung als Hilfsorgane, zeitweilig auch als einzige Organe der Unterstützung und Fortbewegung und neben anderen Leistungen der oberen Extremität, welche beträchtliche Ansprüche an ihre Kraft und Festigkeit stellen, kommen ganz besonders Geschicklichkeitsleistungen in Betracht, bei welchen nach

Richtung und Geschwindigkeit rasch wechselnde und oft sehr rasche Bewegungen und fein abgestufte, nach den Angriffspunkten und ihrer Intensität rasch ändernde Kraftleistungen gefordert werden. Der schlankere Bau und die geringere Masse des freien Arms (im Vergleich zum Bein nicht viel mehr als halb so groß) stehen in Einklang mit den genannten Ansprüchen. Die größere und vielseitigere Beweglichkeit der Arme und namentlich ihrer Endteile, der Hände und Finger, ist durch besondere Einrichtung des Ellbogen- und Schultergelenkes nicht zu erzielen, indem die entsprechenden Gelenke der unteren Extremität (Knie- und Hüftgelenk), ersteres im Sinn einseitiger, letzteres im Sinn allseitiger Exkursionsmöglichkeit bereits den höchsten Grad der Leistungsfähigkeit aufweisen. Wohl aber zeigt einerseits die Hand eine besondere Ausbildung nach der Richtung größerer und mannigfaltigerer Umstellbarkeit im ganzen und in ihren Teilen, und andererseits ist es die Mitwirkung der Gelenke zwischen der Basis der Extremität und den Unterstützungspunkten des Körpers (Fuß, Becken, Wirbelsäule) und namentlich die Beweglichkeit der Schulter gegenüber dem Stamm, was zu den Bewegungsmöglichkeiten in den Gelenken der freien Extremität einen großen Beitrag weiterer Bewegungskombinationen hinzufügt.

a) Klassifikation der Arbeitsleistungen der oberen Extremität.

Wenn wir die mannigfaltigen Aktionen, welche von der oberen Extremität allein oder in Verbindung mit dem übrigen Körper ausgeführt werden, nach mechanischen Gesichtspunkten zu klassifizieren versuchen, so springt uns vor allem der Unterschied in die Augen zwischen jenen Aktionen, bei welchen eine bewegende Wirkung auf den Rumpf und übrigen Körper Ziel und Zweck ist, und jenen anderen Aktionen, bei welchen eine solche Einwirkung nur als unvermeidliche Nebenerscheinung erscheint, das wesentliche Ziel aber in der Stellungsänderung und Bewegung des Armes selbst, oder eines mit ihm verbundenen Gewichtes, einer Waffe, eines Projektiles oder Werkzeuges, oder in irgend einer durch den Arm oder die Hand vermittelten Arbeitsleistung an der Oberfläche des eigenen Körpers oder in der äußeren Umgebung besteht.

In der erstgenannten Gruppe von Aktionen ist der Arm als Stütz- und Stemmapparat, oder als Halt- und Zugapparat, oder als gegliederter Bewegungshebel zwischen äußere Stützpunkte und den übrigen Körper eingefügt. Die Einwirkung auf den Bewegungszustand des gemeinsamen Massenmittelpunkts des Körpers entspricht nach Größe und Richtung den an jenen Stützpunkten hervorgerufenen Widerständen. Es handelt sich also im wesentlichen um lokomotorische Aktionen.

In den Fällen der zweiten Gruppe dagegen bildet der Rumpf die Unterstützungsbasis, welche den Rückhalt bildet für die einseitige Bewegung des Armes und allfälliger mit ihm verbundener Massen (Werkzeuge, Waffen, Projektile). Im allgemeinen besteht die Arbeitsleistung in der Bewegung des Armes, der Hand, der Finger und der allfällig damit verbundenen Massen entgegen der Schwere oder anderen äußeren Kräften und Widerständen. Oft wird äußeren Massen lebendige Kraft

erteilt, vermöge welcher sie über den Bereich des Körpers hinaus ihre Bewegung fortsetzen. Neben den Gelenken des Armes selbst können sich auch Gelenke des Stammes und der unteren Extremitäten an der Aktion beteiligen. Kaum jemals ist bei solchen einseitig gerichteten Arbeitsleistungen des Armes der übrige Körper in allen seinen Teilen absolut festgestellt. Er wird gegenüber seinen Unterstützungspunkten verschoben und in seiner Konfiguration verändert, auch wenn es sich dabei nur um den reaktiven Einfluß handelt, der von der Aktion am Arm ausgeht. Der gemeinsame Körperschwerpunkt wird auch in diesen Fällen in seinem Bewegungszustand verändert, nur handelt es sich hierbei nicht um das Ziel der Aktion, sondern um eine unvermeidliche Begleiterscheinung. Besondere Aktionen werden dabei oft notwendig gemacht, um das gestörte Körpergleichgewicht wieder herzustellen oder den störenden Einflüssen prophylaktisch entgegenzuwirken. Am geringsten ist die Rückwirkung auf den übrigen Körper, wenn die äußere Arbeit durch Gegeneinanderbewegung beider Arme oder der Finger einer Hand etc. geleistet wird.

Natürlich gibt es Übergänge zwischen den beiden Hauptgruppen der Aktionen des Armes. Hierher gehören z. B. die Bewegungen der Arme selbst zur Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichtes. Das Wesentliche dabei ist nicht einzig die einseitige Verschiebung des Armes und einer allfällig mit ihm verbundenen Masse; man muß auch die Bewegung des übrigen Körpers berücksichtigen und den lokomotorischen Impuls, welcher dem Ganzen infolge der neu hervorgerufenen Widerstände an den Unterstützungspunkten erteilt wird.

Endlich erweisen sich zahlreiche Bewegungen und Stellungsänderungen des Armes oder seiner Teile mit oder ohne Haltungs- und Stellungsänderungen des übrigen Körpers als vorbereitende Aktionen (z. B. zum Zugreifen, zum Anfassen eines zugeworfenen Gegenstandes), oder sie dienen direkt dem Schutz des Körpers, oder sie sind demonstrativ oder symbolisch (Gesten) und lassen sich in diesem Fall von ursprünglich direkt nützlichen Aktionen ableiten. Immerhin bleiben dann noch genug Bewegungen der Arme, Hände und Finger, bei den sich Ziel und Nutzen nicht nachweisen läßt, die anscheinend rein zufällig erfolgen, oder dem Bedürfnis nach Bewegung und Stellungswechsel entspringen, oder gewohnheitsgemäß gewisse andere Aktionen oder bloße Regungen der Seele, namentlich gewisse Affekte begleiten.

Im folgenden sollen einige kombinierte Aktionen, bei welchen die Arme mehr oder weniger mitbeteiligt sind, etwas genauer besprochen werden. Dabei interessiert immer wieder ganz besonders die prinzipiell wichtige und schwierige Frage, wie sich die Aktionen an den verschiedenen Gelenken gegenseitig beeinflussen. Es sollte wohl gelingen auf Grund der Beobachtung und einfacher Überlegungen wenigstens bis zu einem gewissen Grade Einblick in die betreffenden Verhältnisse zu gewinnen. Zunächst sei aber mit Bezug auf die einfache Arbeitsleistung an einem einzelnen Körperglied folgendes in Erinnerung gebracht.

b) Einfache Arbeitsleistung am einzelnen Körperglied.

Wo die Überführung eines Gliedes (mit oder ohne Belastung, ohne einen äußeren Widerstand oder entgegen einem solchen) in eine neue Ruhelage die eigentliche nützliche Leistung darstellt, sehen wir die Geschwindigkeit der Bewegung allmählich bis zu einem bestimmten Maximum ansteigen, dann vielleicht eine Weile konstant bleiben und zuletzt wieder bis auf 0 abnehmen. Im Mittel halten sich bei der ganzen Aktion die auf das bewegte Glied einwirkenden inneren und äußeren Kräfte Gleichgewicht, nur überwiegen anfänglich die inneren Kräfte, so daß die Bewegung im Sinn der Arbeitsleistung gegenüber der Schwere oder anderen äußeren Kräften oder Widerständen vor sich geht; zum Schluß aber überwiegen die äußeren Kräfte in der Weise, daß die vom Glied ihnen gegenüber erworbene Bewegung annulliert wird. In der Endlage sowohl wie in der Ausgangsstellung besteht Gleichgewicht aller auf das Glied wirkenden inneren und äußeren Kräfte des Systems. Fehlen äußere Kräfte oder Widerstände, so muß die Bewegung durch innere Kräfte gehemmt werden. Bei sehr langsamer Bewegung braucht während der ganzen Bewegung des Gliedes das Verhältnis der auf dasselbe einwirkenden inneren Kräfte des Systems nicht wesentlich verschieden zu sein von demjenigen, welches in den durchlaufenen Stellungen jeweils genügen würde, um den äußeren Kräften Gleichgewicht zu halten. Die im Sinn der nützlichen Bewegung wirkenden Kräfte brauchen nur wenig größer zu sein als die entgegengesetzt gerichteten, im Mittel nur so viel, als zur Überwindung der Reibung genügt. Je mehr sie im Anfang überwiegen, desto rascher erfolgt die Bewegung und desto mehr müssen sie in der zweiten Hälfte der Bewegung unter den Wert sinken, der zur Gleichgewichterhaltung in den jetzt durchlaufenen Stellungen nötig wäre. Je mehr allerdings gegen den Schluß der Bewegung, die inneren Widerstände des Skelettes und der Weichteile und die passive oder aktive Spannung der Antagonisten zunehmen, desto größere Ansprüche müssen bei gleichbleibendem äußeren Widerstand an die Agonisten gestellt werden, damit die Bewegung bis zum Schluß der möglichen Exkursion weitergehen kann.

Bei dieser Betrachtung haben wir vor allem die Drehbewegungen der Glieder bei festgestellter Achse ins Auge gefaßt. Hört die Aktion der Muskeln am Gelenk auf, bevor die Bewegung des Gliedes wieder annulliert ist, so kommt als äußere Arbeitsleistung derselben in Betracht: 1. die Verschiebung des Gliedes entgegen den äußeren Kräften und Widerständen, 2. die ihm erteilte lebendige Kraft der Drehbewegung.

Bei den Aktionen des Körpers handelt es sich nun im allgemeinen nicht um feststehende Drehungsachsen. Insbesondere sind zwischen den einheitlich bewegten Arm oder Endteil des Armes und die Unterstützungsbasis eine größere Anzahl von Gelenken eingefügt, deren Achsen nur unvollkommen festgestellt sind. Da ist es nun ganz besonders wichtig zu untersuchen, wie durch die Aktion an weiter entfernt von der Unterstützungsbasis gelegenen Gelenken die mehr basal gelegenen Gelenke beeinflußt werden und umgekehrt. Zu den Bemerkungen, welche wir

ierüber bei verschiedenen Gelegenheiten gemacht haben (s. u. a. II. Bd. . 243), sei hier noch einiges hinzugefügt.

Allgemeine Bemerkungen über das Verhalten der Gelenke näher der Unterstützungsfläche bei der Aktion an entfernteren Gelenken.

Die Muskeln eines Gelenkes wirken immer nach zwei Seiten. Beeht der nützliche Effekt in der Fortbewegung der einen Partialmasse les Oberstückes), so wird die Arbeitsleistung dadurch beeinträchtigt, daß ie andere Partialmasse (das Unterstück) oder der nächstgelegene Teil erselben nachgibt und nach der Unterstützungsfläche hin ausweicht. er Weg, den das Oberstück im umgebenden Raum in nützcher Richtung zurücklegt, bis die maximale Verkürzung er Muskeln erreicht ist, verkürzt sich infolge der schädchen Verschiebung der Muskelursprungsstellen. Solches gehieht, wenn ein der Unterstützungsfläche näher gelegenes Gelenk nicht stgestellt ist. Eine passive Feststellung ist in vielen Fällen nicht mögeh, namentlich dann nicht, wenn gleichzeitige Aktion in diesem mehr asalen Gelenk stattfindet, dieses Gelenk also offen ist. Wohl aber kann urch eine bestimmte Muskelanstrengung am basalen Gelenk die aktive eststellung ermöglicht werden. Soll die zwischen den beiden Gelenken legene Partialmasse nicht bloß an der Rückbewegung gehindert, ndern im gleichen Sinn wie das entferntere Stück bewegt werden, muß die Spannung der Muskeln im basalen Gelenk noch etwas größer in, als zur bloßen Feststellung des Gelenkes nötig wäre.

Wird das schädliche Ausweichen der Muskelursprungsstellen des ndgelenkes nicht bloß verhindert, sondern werden die Ursprungsstellen urch die Aktion eines mehr basal gelegenen Gelenkes sogar in nützcher Richtung bewegt, so ist umgekehrt der Weg, welchen das Endlied im umgebenden Raum zurücklegen kann, bis die Exkursionsähigkeit der Muskeln des Endgelenkes erschöpft ist, absolut vergrößert. ie Arbeitsleistung am basalen Gelenk kommt in dieser Weise auch der ewegung des Endgliedes zugut.

Die Bewegung der Partialmassen (Glieder) des tierischen und enschlichen Körpers geschieht infolge der Disposition des Skelettes und er Muskeln im allgemeinen in Form von Drehungen in den Gelenken. ie Wirkung der Schultergelenkmuskeln nach beiden Seiten bei der rmhebung äußert sich beispielsweise darin, daß sich zugleich mit der mpordrehung des Armes ein Einfluß zur Querstellung des Schulterblattes eltend macht. Folgt letzteres diesem Einfluß, so muß der Effekt der ontraktion der Schultergelenkmuskeln für die Armhebung vermindert in. Es ist deshalb vorteilhaft, wenn das Schulterblatt gleichzeitig urch die Stammschulterblattmuskeln in seiner Aufrichtungsstellung stgehalten wird. Soll aber die Hebung des Armes durch stärkere Aufchtung des Schulterblattes unterstützt werden, so muß solches durch ne stärkere Anspannung der aufrichtenden Muskeln über das zur ixation Notwendige hinaus geschehen. Macht die Einschiebung der äher an der Unterstützungsfläche gelegenen Gliederungsstelle zwischen

Schulterblatt und Thorax ein Plus an Muskelaktion zur Feststellung notwendig, so ergibt sie auf der anderen Seite den Vorteil, daß der Exkursion des Armes ein neuer Betrag hinzugefügt, und daß bei geeignetem zeitlichen Zusammenwirken der Aktion an den beiden Gliederungsstellen dem Arm eine größere Geschwindigkeit und lebendige Kraft erteilt werden kann. Die maximale Arbeitsleistung am Arm kann wirklich durch die Aktion am basalen Gelenk entsprechend dem Mehraufwand an Muskulatur und chemischem Umsatz in derselben vergrößert sein.

Wir sehen aber auch ein, daß in einem Gelenke nicht die kleinste Bewegung und Arbeitsleistung vor sich gehen kann, ohne daß in näher der Unterstützungsfläche gelegenen Gelenken entweder schädliche Ausweichebewegung stattfindet, oder Muskelspannungen zur Feststellung resp. zur Korrektur der eingetretenen Verschiebungen wachgerufen werden. Unter Umständen, soweit möglich und notwendig, geht aber die Aktion an diesen Gelenken noch weiter, zur Mithilfe bei der Arbeitsleistung.

Mit den im vorigen dargelegten Angaben über die schädliche Wirkung der Reaktion scheinen bei oberflächlicher Betrachtung in Widerspruch zu stehen gewisse Tatsachen, auf welche O. Fischer (Leipz. Abh. XXIII. Bd. Nr. 4, 1896) aufmerksam gemacht hat, und welche allgemein als etwas durchaus Neues und Merkwürdiges aufgefaßt worden sind.

O. Fischer hat gezeigt, daß beispielsweise bei Aktion der Beuger am gebeugten Ellbogengelenk der Humerus gegenüber dem festgestellten Schulterblatt in der Beugungsebene des Ellbogengelenkes im Sinn der Axillarflexion nach unserer Bezeichnungsweise gebeugt und bei Streckaktion am Ellbogengelenk gestreckt wird. Man kann aber diese Tatsache ganz gut schon aus den Prinzipien der Bewegung des zweigliedrigen Systems, die ich in meinen Abhandlungen „Über die Grundbedingungen der Lokomotion 1880“ und „Zur Lehre von der Ortsbewegung der Fische 1882“ erläutert habe, ableiten. Wirken Kräfte am Ellbogengelenk bei frei beweglichem Schultergelenk, aber festgestelltem Schulterblatt, so stellen Oberarm und Vorderarm (mit der Hand versteift) gewissermaßen für sich ein zweigliedriges System dar, dessen Bewegung am Schulterende einen absoluten Widerstand erfährt. Ohne diesen Widerstand und ohne Einwirkung irgend welcher anderer äußerer Kräfte (Schwere) würde dieses System bei der Kontraktion der Beugemuskeln des Ellbogengelenkes so bewegt werden, daß der gemeinsame Massenmittelpunkt nicht verschoben würde. Der Ellbogen würde nach der Streckseite ausweichen, die Hand und der Schulterendpunkt müßten sich nach der Beugeseite hin und gegeneinander bewegen. Indem nun der Mittelpunkt des Humeruskopfes festgehalten wird, muß dort ein nahe dem Schulterblatt hin gerichteter Widerstand wachgerufen werden. Seiner Größe und Richtung entsprechend wird der Massenmittelpunkt des Systems beschleunigt, die Bewegung des Ellbogens nach der Streckseite hin bleibt ja ungehindert bestehen und hat nun das Übergewicht, indem ein Teil der entgegengesetzt gerichteten Bewegung gehemmt ist. Der Humerus dreht sich im Sinn der Annäherung an das Schulterblatt (Axillarflexion)

Vorderarm mit Hand drehen sich in umgekehrtem Sinn; ihre Drehung hat das Übergewicht, entsprechend dem Umstand, daß die Kraftlinie des Widerstandes nicht durch den Massenmittelpunkt des Systems, sondern kranialwärts daran vorbeigeht.

Auf Grund ganz analoger Überlegungen muß man zu dem Schluß kommen, daß bei Aktion der Strecker des Ellbogengelenkes eine Nebenbewegung im nicht festgestellten Schultergelenk im Sinn einer Axillarextension stattfindet, daß ferner bei festgestelltem Rumpf und freiem Bein eine Aktion der Strecker des Kniegelenkes, wenn dabei nur die Vasti beteiligt sind, einen Einfluß ausüben muß zur Streckung des Femur im Hüftgelenk, und eine Aktion der eingelenkigen Beuger einen solchen zur Beugung des Femur in diesem Gelenk. Ganz speziell habe ich schon 1880 ausgeführt, daß bei aufgesetztem Fuß und frei bewegbarem Rumpf eine Aktion der Strecker des Hüftgelenkes Streckung am gebeugten Kniegelenk hervorruft.

Was nun hierbei für den Augenblick ganz besonders interessiert, ist folgendes: Obschon bei der Streckung des freien Armes Vorderarm und Hand vom Rumpf weggetrieben werden, wird der Oberarm doch nicht durch die Gegenwirkung der eingelenkigen Streckmuskeln auf ihre Ursprungspunkte in entgegengesetzter Richtung im nicht festgestellten, der Unterstützungsstelle näher gelegenen Schultergelenk bewegt. Ebensowenig findet in den übrigen Beispielen bei der Aktion in dem entfernteren Gelenk eine schädliche reaktive Ausweichebewegung der nächstgelegenen Glieder der basalen Partialmasse statt, welche zwischen die Aktionsstelle und das näher an der Unterstützungsfläche gelegene, nicht fixierte Gelenk eingeschoben ist.

Man muß danach zu der Vermutung kommen, daß besondere Einrichtungen möglich sind, welche die Feststellung des nächsten, näher der Unterstützungsbasis gelegenen Gelenkes bei der Aktion an entfernteren Gelenken überflüssig machen, auch wenn diese Gelenke eigentlich offen sind. Wirklich handelt es sich um eine Art Übertragung des reaktiven, schädlichen Bewegungseinflusses durch die Skelettstütze, an welcher die Muskeln der Aktionsstelle entspringen, über die Basis der basal benachbarten Gelenkstelle hinweg auf die noch weiter basal gelegenen Teile. Es hängt dies vornehmlich mit der Schrägstellung der betreffenden Skelettstütze zusammen. Der reaktive Einfluß ist also nicht aufgehoben. Unter Umständen überträgt er sich durch Vermittlung des Skelettes unmittelbar auf die Unterstützungsfläche des Körpers. Solches ist der Fall beim Gang, bei der Streckaktion des Hüftgelenkes des vorgestellten Beines. Im Augenblick der stärksten Streckung der Hüfte und des Knies ist der Fuß voll aufgesetzt. Die reaktive Wirkung der Hüftgelenkstrecker überträgt sich hier durch den Unterschenkel und Fuß direkt auf den Boden. Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn in der Kniebeuge, bei gehobener Ferse und gebeugtem Sprung- und Kniegelenk Aktion der Kniegelenkstrecker stattfindet. Die Reaktion wirkt hier nicht zur Dorsalbeugung im Sprunggelenk, sie setzt sich vielmehr durch Vermittlung des Fußgelenkes und Fußes direkt auf die Zehenunter-

stützungsfläche fort. Analoge Fälle würden gegeben sein, wenn bei freiem Arm und Aktion am Ellbogengelenk die Schulter, bei freiem Bein und Aktion am Kniegelenk der Rumpf (das Becken) direkt unterstützt und festgestellt wären. Wenn dabei die Zwischenglieder, der Oberschenkel, der Oberarm, der Fuß (bei Öffnung des Sprunggelenkes) usw. sich geradezu in nützlicher statt in schädlicher Richtung bewegen, so geschieht dies, weil ein Teil der nützlichen Bewegung der weiter von der Unterstützungsbasis entfernten Partialmasse durch das Skelett auf das Zwischenglied übertragen wird.

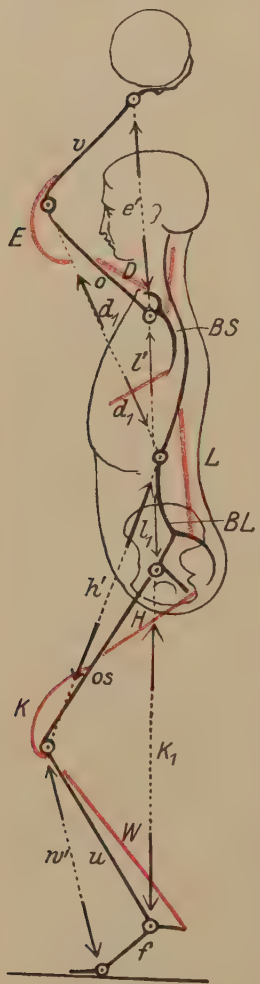


Fig. 139.

So günstig liegen aber die Verhältnisse nicht immer. Die reaktive Wirkung, die sich bei Streckaktion am Ellbogengelenk des vorgestellten freien Armes durch den Humerus auf das Schulterblatt überträgt, muß sich beim Stand, bei nicht direkt von hinten gestützter Schulter in einer Rückschiebung der Schulter und des ganzen Körpers geltend machen.

Erheben wir uns aus der Kniebeuge und ist dabei die Ferse vom Boden abgehoben, so überträgt sich die reaktive Wirkung der Hüftgelenkmuskeln (z. T.) durch den Unterschenkel auf die Ferse und drückt dieselbe nieder (Einsinken in den Metatarsophalangealgelenken, eventuell auch im Sprunggelenk).

Bei zickzackförmiger Anordnung der Hauptlinien der Glieder zueinander wird es im allgemeinen nicht das unmittelbar nachfolgende, sondern das zweitnächste Gelenk sein, an welchem die reaktive Wirkung einer Gelenkaktion in erster Linie zur Geltung kommt.

Man könnte dieses Verhalten in besonderer Weise bezeichnen als den Vorgang der Übertragung der Reaktion. Besteht das Ganze aus den Gliedern a, b, c, d, welche durch die Gelenke I, II, III voneinander getrennt sind, und ist a das direkt äußerlich unterstützte basale Glied, so überträgt sich bei einer Aktion im Gelenk III zur nützlichen Bewegung von d die schädliche Reaktion durch das Glied c hindurch auf das Glied b. Dieses weicht in schädlicher Weise aus, wenn nicht fixierende Kräfte des Gelenkes I es verhindern usw.

Bei zickzackförmig zueinander gestellten Hauptlinien der Glieder (Fig 139) und alternierend auf entgegengesetzten Seiten der aufeinander folgenden Gelenke stattfindender Aktion kann man mit Vorteil je zwei

einander benachbarte Glieder mit dem dazwischen liegenden Gelenk als ein Aktionselement zur Streckung resp. zur Beugung betrachten. Bei der Streckung stemmt es sich mit dem einen, basalen Ende reaktiv auf den angrenzenden Körperteil oder auf den Boden; nach dem anderen, von der Unterlage weiter entfernten Ende hin entfernt es sich mit von Punkt zu Punkt zunehmender Geschwindigkeit und wachsendem Betrag der Exkursion von diesem Stemmpunkt weg. In dem System der Fig. 139 bilden z. B. die Glieder f und u und dann wieder u und os, os und BL, BL und BS etc. je zusammen ein solches Element der Streckaktion. Das Glied u ist den beiden ersten Streckelementen gemeinsam und wird durch die Aktion beider in gleichem Sinn in die gemeinsame Streckrichtung eingedreht. Durch die Aktion des Streckungselementes f + u wird dem reaktiven Einfluß der Streckmuskeln zwischen os und BL, durch die Streckung des Knies wird dem reaktiven Einfluß der Aktion der Hüftgelenkstrecker entgegengewirkt etc. So summieren sich die Einflüsse der einzelnen Streckaktionen zu einer gemeinsamen Streckaktion. Die Wirkungsweise der Kräfte an den einzelnen Streckelementen ist etwas leichter zu verstehen, wenn man sich den Zug der Muskeln am mittleren Gelenk des Elementes ersetzt denkt durch eine auseinander treibende Kraft und Gegenkraft, welche auf der entgegengesetzten Seite des Gelenkes in der Verbindungslinie der beiden Nachbargelenke wirken, wobei wir die vereinfachende Voraussetzung machen, daß alle Kräfte und Bewegungen der Medianebene des Körpers parallel gerichtet sind.

2. Besprechung einiger kombinierter Aktionen, bei welchen die Arme beteiligt sind.

a) Gewichtheben (Gewichtdrücken und Gewichtreißen).

Daß hierbei der nervösen Koordination eine wichtige Rolle zukommt, ist selbstverständlich. Der Fortgang der Innervation muß in jeder Phase der mehr oder weniger automatischen Aktion bestimmt und reguliert sein, durch die von der Peripherie zum Zentrum (Kleinhirn) gelangenden Nachrichten. Von besonderer Bedeutung für die kombinierte Streckaktion scheinen die in der Längsrichtung der Glieder hervorgerufenen Druckspannungen in den Gelenken zu sein.

Nach der Beobachtung von Max Egger (1910) können die Streckmuskeln am Ellbogen- und Kniegelenk bei einer solchen kombinierten Aktion, bei genügend wirksamen Widerständen, noch annähernd ihre volle Kraft entfalten und volle Arbeit leisten, während das Vermögen zur willkürlichen isolierten Streckung der genannten Gelenke am freien Bein fast aufgehoben ist.

Unter Gewichtdrücken versteht man in der Sprache der Turner und Athleten diejenige Übung, bei welcher ein schweres Gewicht langsam, ohne Ruck und Schwung nach oben gebracht wird im Gegensatz zum Emporreißen des Gewichtes. Das Gewicht wird bei gebeugten Knien und Hüftgelenken und vorgebeugtem Rumpf vom Boden aufgenommen. Beine und Rumpf müssen im Laufe der Übung vollständig gestreckt, da der Oberrumpf muß nach hinten geneigt werden; die Arme gelangen aus der Stellung nach unten über die Höhe der Schultern hinaus zur völligen Streckung nach oben. In welcher Art kombinieren sich die

Aktionen an den verschiedenen Gelenken um die möglichst große Leistung zu erzielen?

In jeder Phase der Übung muß die Spannung der Muskeln an den einzelnen Gelenken mindestens genügen, um den Kraftmomenten der Schwere aller über dem Gelenk gelegenen Massen mit Bezug auf die Drehungsachse des betreffenden Gelenkes Gleichgewicht zu halten. Um Bewegung nach oben zu erzielen muß die Spannung noch etwas größer sein; und findet in höher oben gelegenen Gelenken nicht bloß Feststellung durch Muskelspannung statt, sondern ist auch hier ein Mehrbetrag von Muskelspannung zur nützlichen Bewegung gegeben, so muß außerdem an den unteren Gelenken der Reaktionswirkung, die sich aus diesen Mehrbeträgen der Muskelspannungen höherer Gelenke ergeben, Gleichgewicht gehalten werden. Bei gleichzeitiger nützlicher Bewegung in mehreren übereinander gelegenen Gelenken muß also der Mehrbetrag der Muskelspannung, der über das zur Feststellung des Ganzen in der betreffenden Stellung Notwendige hinausgeht, an jedem unteren Gelenk größer sein als an den über ihm gelegenen Gelenken. Es fragt sich, ob die gleichzeitige Aktion an allen übereinander gelegenen Gelenken nicht teilweise vermieden werden kann und ob solches nicht von Vorteil wäre.

Hier sind folgende Überlegungen maßgebend:

Wir können bei der Aktion an jedem Gelenk mit Bezug auf die in jedem Augenblick wirksame Muskelspannung unterscheiden a) den Betrag der zur Feststellung nötig wäre, b) den Mehrbetrag, der Bewegung hervorruft. Es ist für die Aktion im nächstunteren Gelenk völlig gleichgültig ob in jedem Augenblick die Feststellung des oberen Gelenkes aktiv oder passiv geschieht, wenn nur die Stellung der Partialmassen zueinander und zur Umgebung im betreffenden Augenblick die gleiche ist. Ein Mehrbetrag von Muskelspannung im unteren Gelenk wird nur gefordert zur Aufhebung der Reaktion, welche sich aus jenem Mehrbetrag an Muskelspannung im oberen Gelenk ergibt. (Überträgt sich die Reaktion mehr auf das zweitnächste als auf das nächste Gelenk, so gilt das Angeführte je für die gleichzeitige Aktion im oberen und im zweitnächsten unteren Gelenk).

Die im Anfang der Bewegung notwendigen Mehrbeträge an Muskelspannung, die im Vergleich zu dem bei der bloßen Feststellung des Ganzen Notwendigen zur Herbeiführung wirklicher nützlicher Bewegung in jedem Gelenk erforderlich sind, und die von ihnen geleisteten Arbeiten sind nun aber nicht verloren, wenn durch sie den Massen aufwärts gerichtete Beschleunigung und lebendige Kraft erteilt wird. Am Schluß der Aktion in den Gelenken kann die gewonnene lebendige Kraft zur Arbeitsleistung entgegen der Schwere verbraucht werden; um soviel geringer können am Schluß der Bewegung die Muskelspannungen im Vergleich zu dem bei blößer Feststellung des Ganzen Notwendigen sein. Könnten die Aktionen der einzelnen Gelenke nacheinander stattfinden in der Weise, daß in jeder Phase der Aktion eines Gelenkes die Stellung der Massen zueinander die gleiche wäre, wie bei gleichzeitiger Aktion, und müßten bei der Aktion des einzelnen Gelenkes jeweils sämtliche übrigen festgestellt sein, so würde dabei keine Arbeit ge-

spart; die Exkursion in jedem Gelenk und die mittlere Muskelspannung wären die gleichen; nur würde die nötige Muskelspannung zu Anfang der Aktion weniger vermehrt, am Ende der Aktion weniger vermindert sein.

In Wirklichkeit muß aber bei nacheinander folgender Aktion an den verschiedenen Gelenken die Stellung der Partialmassen zueinander und zur Umgebung in den verschiedenen Phasen der Aktion eines Gelenkes anders sein als bei gleichzeitiger Aktion aller Gelenke. Die Abstände der Lotrechten aus den Schwerpunkten der Oberstücke von den Drehungsachsen sind in korrespondierenden Phasen verschieden. Nun wird zwar die gleiche Arbeit geleistet, wenn das Gesamtgewicht des Oberstückes um den gleichen Betrag gehoben wird, mag solches an einem langen oder an einem kurzen Hebelarm der Last geschehen; aber die Form der Arbeitsleistung der Muskeln ist dabei verschieden; im ersten Fall ist eine größere Spannung und eine geringere Verkürzung der gegebenen Muskulatur erforderlich. Offenbar kommt bei der Ausführung der Übung alles darauf an, daß den einzelnen Gelenkmuskulaturen nicht größere Spannungen zugemutet werden, als sie ohne Schaden leisten können, und daß andererseits die vorhandene Exkursionsmöglichkeit vollständig ausgenützt wird. Im allgemeinen muß dafür gesorgt werden, daß an jedem Gelenk die Lotlinien aus den Schwerpunkten ihrer Oberstücke nicht zu weit von der Drehungsachse abrücken. Bei Zickzackstellung der Glieder werden sie möglichst zwischen den aufeinander folgenden Gelenken durchgehen. Die gleichzeitige Aktion in den verschiedenen Beingelenken ermöglicht hier außerdem, den Körperschwerpunkt senkrecht über der Unterstützungsfläche zu behalten. Andererseits ist es für die Verkürzung der Hebelarme der Last nicht notwendig und nicht vorteilhaft, wenn zu der gleichzeitigen Streckaktion in den Hüft- und Kniegelenken auch zugleich die intensivste Streckung des Oberrumpfes und die Hochführung der Arme hinzutritt. Die Hauptaktion in den oberen Gelenken findet besser erst statt, wenn diejenige der unteren Gelenke vollzogen nnd sie passiv festgestellt sind. Wir sehen, daß diese Grundsätze bei der „stilgerechten" Ausführung des Gewichthebens berücksichtigt werden. Das zu hebende Gewicht wird möglichst nahe vor den Schultergelenken vorbei nach oben gebracht, vorher und nachher möglichst senkrecht unter resp. über den Schultergelenken gehalten. Wenn sich das Gewicht vor den Schultergelenken befindet, stehen die Ellbogen zurück, so daß mit Bezug auf die Schultergelenke der Hebelarm des Gewichtes des Oberstückes stets möglichst klein ist. Die Arbeit in den Armgelenken (Ellbogengelenk) zur Annäherung des Gewichtes von unten an die Schulter wird dadurch verringert, daß die Beingelenke und der Rumpf vor Beginn der Hebung des Gewichtes stärker gebeugt, die Schultern dem Boden möglichst genähert werden. Die Hebung erfolgt dann bei schon angezogenen Armen zunächst durch die Streckung der Beine, dann des Rumpfes. Durch Streckung des Rumpfes und Rückbeugung des Oberrumpfes wird die Schultergelenkpfanne nach oben gedreht, so daß das Gewicht senkrecht über dieselben gebracht wird. Die Ausstreckung des Armes bringt von dieser Stellung aus das Gewicht nach oben; sie erfolgt erst, nachdem

die Aktion der Beine vollzogen und auch der Rumpf möglichst hintenüber gestreckt ist. Besondere Schwierigkeit bereitet die Hebung des Gewichtes vor den Schultern und die dabei notwendige Umstellung der Hände in den Handgelenken. Hier ist es ein vielleicht nicht ganz stilgerechter Kunstgriff, wenn nach schon vollendeter Streckung der Beine der Körper rasch etwas in die Knie einsinkt und mit den Schultern gleichsam unter das Gewicht schlüpft. Die Streckkraft des wenig gebeugten Beines ist so groß, daß die neue Streckaktion mit dem Emporstrecken des Armes zusammenfallen kann. Die Streckung der Knie- und Hüftgelenke erfolgt auch hier ohne Schaden ziemlich gleichzeitig. Beim langsamen Gewichtheben spielt die lebendige Kraft keine Rolle.

Das Emporreißen des Gewichtes erfolgt nach etwas anderem Prinzip. Hier wird das Gewicht bei stärker gebeugten Beingelenken und abwärts gestrecktem Arm gefaßt und es wird ihm zunächst durch die möglichst energische Streckaktion der Beine und auch des Rumpfes bei noch gestrecktem (und passiv festgestellten) Ellbogengelenk möglichst viel aufwärts gerichtete lebendige Kraft erteilt. Noch bevor die Streckaktion der Beine zu Ende ist, setzt auch die Beugebewegung in den Ellbogengelenken ein. Eine kraftvolle Rückbeugung des Oberrumpfes und etwelche Vorhebung der Oberarme schließen sich an, so daß das Gewicht vor den Schultern emporsteigt. Wenn nötig, duckt sich auch hier der Körper durch Wiedereinsinken in die Knie unter das noch im Emporsteigen begriffene Gewicht. Dieses soll eine so große lebendige Kraft der Aufwärtsbewegung erlangt haben, daß auch noch die letzte gemeinsame Streckaktion der nach oben gestellten Arme und des übrigen Körpers dadurch erleichtert wird. Überhaupt wird bei diesem Emporreißen des Gewichtes den Armen anfangs größere Arbeit zugemutet, später die Arbeit teilweise abgenommen und dafür in größerem Betrag den Bein- und Rumpfgelenken zugewiesen. Wie bei allen Ruck- oder Zuckarbeiten kommt es auf die Entwicklung möglichst großer Anfangsspannungen an und auch das richtige zeitliche Einsetzen der Aktion in den verschiedenen Gelenken ist von ganz besonderer Bedeutung.

b) Die Wurfbewegung verglichen mit dem Sprung.

Die Erteilung einer möglichst großen Geschwindigkeit und lebendigen Kraft an eine zeitweilig mit dem Körper verbundene Masse bildet nun die Hauptaufgabe der Aktion bei der eigentlichen Wurfbewegung. Im allgemeinen wird das Wurfgeschoß von der Hand festgehalten bis Hand und Arm die größtmögliche Geschwindigkeit erhalten haben, die vom Körper aus nicht mehr gesteigert, sondern nur vermindert werden kann. In diesem Augenblick muß sich das Geschoß vom Körper ablösen. Es ist von Nutzen, die Verhältnisse beim Wurf mit denjenigen des Sprunges zu vergleichen. Beim Sprung kommt es darauf an, der Gesamtmasse des Körpers eine bestimmte, oder eine möglichst große nach oben oder nach vorn oben gerichtete Geschwindigkeit und lebendige Kraft zu erteilen. Dies kann nur geschehen durch Hervorrufung des lokomotorischen Widerstandes an den Füßen. Nach dem Absprung läßt sich

der lebendigen Kraft des Ganzen nichts mehr hinzufügen. Auch wenn dem Körper im Moment des Absprungs eine bestimmte Drehbewegung im ganzen um den Gesamtschwerpunkt mitgeteilt ist, so läßt sich daran, solange der Körper frei durch die Luft geht, nichts mehr ändern. Von allfälligen kleinen neuen Einflüssen zur Drehung oder Beschleunigung des Ganzen bei seiner freien Bewegung durch die Luft, welche durch den Luftwiderstand resp. durch Schlag der Glieder gegen die Luft hervorgerufen werden können, sehen wir dabei ab. Die ganze mögliche Streckaktion der Gelenke muß also bis zum Augenblick, da die Fußspitzen den Boden verlassen, vollendet sein. Daraus ergibt sich bereits, daß die Aktion an den verschiedenen Gelenken im wesentlichen gleichzeitig erfolgen muß. Die Aktion der oberen Gelenke, insbesondere die Bewegung der Arme nach vorn und oben, welche die Energie des Sprunges vermehrt, wie wir weiter unten genauer zeigen werden, beginnt vielleicht einen Moment früher, die Streckung der Sprunggelenke setzt etwas später ein als die Streckaktion der Hüft- und Kniegelenke. Soweit gleichzeitige Streckaktion stattfindet, wachsen nach oben zu von Gelenkachse zu Gelenkachse die Geschwindigkeiten. Schon Lionardo sagt hierüber: Beim Sprung bewegt sich der Kopf dreimal schneller als der Absatz des Fußes, bevor die Fußspitze von der Erde abstößt, zweimal geschwinder als die Hüften.

Im Augenblick aber, da in einem Gelenk die Streckbewegung vollendet ist, kann eine verschiedene Bewegung der im Gelenk verbundenen Glieder nicht mehr stattfinden; es muß sich also ein Ausgleich der Geschwindigkeiten vollzogen haben; das obere Glied ist in seiner Bewegung gehemmt worden, indem es das untere Glied mit sich gerissen hat. Im Moment der vollendeten Streckung aller Gelenke, welche im allgemeinen mit dem Moment der Ablösung des Körpers vom Boden zusammenfällt, ist also die Bewegung des Ganzen eine einheitliche geworden. Wohl können am frei bewegten Körper neue Konfigurationsänderungen auftreten, im allgemeinen im Sinn der Beugung des einen oder anderen Gelenkes. Die vorgehobenen Arme können herabgehen, die Beine an den Rumpf hochgezogen werden. Es ist auch möglich, daß durch die letzte Aktion in den Sprunggelenken vor der Ablösung des Fußes die Beine schon einen besonderen Impuls zur Vorbewegung gegenüber dem Rumpf erhalten haben. Alle nach dem Absprung bis zur Wiederberührung des Bodens stattfindenden Aktionen ändern aber, wie gesagt, nichts an dem Bewegungszustand des Massenmittelpunktes des Ganzen.

Die Wurfbewegung.

Würde nun die Aktion des Sprunges zum Abwurf eines Geschosses benützt, so müßte letzteres in dem Augenblicke aus der Hand sich lösen resp. zweckmäßigerweise aus der Hand losgelassen werden, in welchem die Hand ihre maximale Geschwindigkeit erlangt hat und noch nicht durch den übrigen Körper in ihrer Bewegung verzögert ist, also vor Beendigung der Streckung der terminalen Gelenke des Armes. Die ganze lebendige Kraft der Aufwärts- und Vorwärtsbewegung, welche in diesem

Augenblick dem Körper selbst innewohnt, wäre dann für die weitere Bewegung des Geschosses nutzlos, desgleichen also die gesamte, zur Erzeugung dieser lebendigen Kraft verwendete Arbeit. Man ersieht daraus, daß die Kräfte bei der Wurfbewegung in etwas anderer Weise ausgenutzt werden müssen, und daß bei letzterer eine vollkommen gleichzeitige Vollendung aller an sich nützlichen Gelenkaktionen nicht von Vorteil sein kann. Daß aber beim machtvollen Wurf alle Gelenke von den Füßen bis zur Hand mitwirken, steht außer Frage.

Man wolle nun weiter überlegen, was geschieht, wenn die Aktion in dem von der Unterstützungsbasis am weitesten entfernten Gelenk, oder in einer Gruppe terminaler Gelenke, wenn also z. B. die nützliche Aktion des Armes beim Wurf vollendet ist, bevor die Bewegung in den mehr basal gelegenen Gelenken beginnt oder vollkommen durchgeführt ist. In diesem Fall werden bei der Beendigung der Exkursion in den Endgelenken die in ihnen bewegten Glieder durch die mehr basal gelegenen Teile gehemmt werden, während sie den letzteren von ihrer Bewegung mitteilen. Löst sich das Geschoß bei dieser Verzögerung von der Hand, so ist die ganze dem Körper bereits erteilte lebendige Kraft und der Zuwachs, den diese durch die Aktion der basalen Gelenke noch erfahren kann, für den Wurf nutzlos. Wird aber das Geschoß festgehalten, so kann es zwar nach vorübergehender Hemmung nachträglich durch die weitergehende Aktion der basalen Gelenke mit samt den Endteilen des Armes wieder beschleunigt werden, die maximale ihm erteilte Geschwindigkeit ist aber niemals so groß, wie sie bei gleichzeitiger Vollendung der Aktion aller Gelenke sein würde, indem die maximale Geschwindigkeit des basalwärts folgenden Gliedes durch die Hemmung des Endgliedes eine größere geworden ist. Die Verhältnisse liegen also für den Wurf des Geschosses hier noch ungünstiger als im vorigen Fall, und es geht ein noch größerer Teil der Muskelarbeit in der Erteilung von lebendiger Kraft an den Körper nutzlos verloren.

Eine dritte Möglichkeit ist die, daß terminale, dem Wurfgeschoß benachbarte Gelenke mit ihrer Aktion später einsetzen als mehr basal gelegene Gelenke, eine allfällige nützliche Bewegung der Hand (Diskuswurf) später als die nützliche Bewegung im Ellbogen- und Schultergelenk, diese hinwiederum später als die nützliche Aktion zwischen Schulter und Rumpf und in den Rumpfgelenken, diese endlich gleichzeitig mit oder vielleicht etwas später als die Aktion in den Gelenken des Beines. Eine andauernde Beschleunigung des Endgliedes und des damit verbundenen Geschosses kann in diesem Fall nur dann eintreten, wenn die Aktion am terminalen Gelenk oder Gelenkkomplex nicht erst beginnt, wenn in dem mehr basal gelegenen Gelenk oder Gelenkkomplex die Aktion und Exkursion bereits vollendet ist, sondern vorher. Die Reaktion der Muskeln, welche von der terminalen Aktionsstelle ausgeht, wirkt dann noch auf in nützlicher Bewegung befindliche, mehr basal gelegene Gelenkachsen und Glieder und verzögert deren Bewegung. Wäre es nun möglich, daß deren Bewegung durch die reaktive Einwirkung gerade annulliert ist, wenn sowohl die Aktion an der darüber gelegenen als auch die Aktion an der basalwärts gelegenen Ak-

tionsstelle sich annähernd voll entfaltet hat (bei maximaler Muskelanspannung und annähernd maximaler Muskelverkürzung), so wäre das Resultat folgendes: In allen Gelenken hat sich bis zum Schluß nützliche Bewegung vollzogen; alle Gelenkachsen und so auch die Hand mit dem Geschoß sind bis zum Schluß in nützlicher Richtung beschleunigt worden. Hand und Geschoß erreichen am Schluß, bevor die Bewegung in den Gelenken vollständig gehemmt wird, eine maximale Geschwindigkeit entsprechend der Summation der Bewegung der einzelnen Gelenke. In diesem Augenblick aber ist die Bewegung aller mehr basalwärts liegender Komplexe 0 geworden. Die ganze Arbeit an den Gelenken muß also zur Erzeugung der lebendigen Kraft des Endkomplexes und des Geschosses verwendet sein. Mit der Hemmung der Bewegung in sämtlichen Gelenken und speziell im letzten Gelenk wird das Geschoß sich von der Hand lösen. Der einzige Verlust wäre die bei der Ablösung noch vorhandene lebendige Kraft des benachbarten Endteiles des Körpers, die sich dann bei der Hemmung der Exkursion im letzten Gelenk oder Gelenkkomplex auf den ganzen Körper verteilt.

Das Angeführte gilt streng genommen nur für die horizontale Bewegung. Vertikale Geschwindigkeit kann dem Geschoß nur erteilt werden insofern, als in den einzelnen Aktionsstellen auch vertikale nützliche Bewegung zustande kommt. Auch wenn am Schluß der Aktion die ganze vertikale Bewegung, abgesehen vom Endglied, annulliert ist, so ist doch ein Teil der in vertikaler Richtung geleisteten Arbeit zur Aufwärtsverschiebung von Körpermasse verbraucht worden. Dieser Verlust ist natürlich nicht zu vermeiden. Es gilt nur, ihn möglichst klein zu halten durch möglichst rasche Aufeinanderfolge der verschiedenen Aktionen.

Wenn nach dem Vorigen die Möglichkeit vorliegt, daß fast die ganze in horizontaler Richtung und ein großer Teil der in vertikaler Richtung geleisteten Arbeit dem Geschoß zugute kommt, so fragen wir uns, ob unter den dazu geforderten Bedingungen überhaupt ein erheblicher Betrag von nützlicher Arbeit an jedem Gelenk geleistet werden kann. Offenbar kann die maximal mögliche aktive Muskelverkürzung in den basalen Gelenken nicht vollständig ausgenützt werden, indem die Hemmung der Bewegung der nächstgelegenen Gelenkachse des Oberstückes und die gänzliche Sistierung ihrer Bewegung einzig durch reaktive Einwirkung von oben her nur dann erfolgen kann, wenn der letzte Teil der Exkursion im darunter gelegenen Gelenk nicht mehr oder mindestens in nur sehr geringem Maße durch Muskelaktion gefördert wird, vielmehr im wesentlichen nur infolge der schon gewonnenen Geschwindigkeit ausgeführt wird. Um so größer muß also die Muskelspannung in den ersten Phasen der Aktion sein, wenn dem Oberstück und seiner zunächst gelegenen Gelenkachse bis zum Beginn der Hauptaktion in dem nächsthöher gelegenen Gelenke eine möglichst große Geschwindigkeit erteilt werden soll. Dies gilt schon für das unterste Gelenk resp. die unterste Gruppe gleichzeitig in Aktion befindlicher Gelenke und so für alle folgenden Gelenke oder Gelenkgruppen. Im großen und ganzen wird wohl eine fast gleich große Arbeitsentfaltung möglich sein wie beim Sprung.

Eine genauere Prüfung lehrt, daß die vollendete Technik der Wurfübungen diesen Prinzipien gemäß verfährt. Als Beispiel wählen wir das sogenannte Kugelstoßen.

Kugelstoßen rechts.

Die Ausgangsstellung kann etwas verschieden gewählt werden. Eine zweckmäßige Form ist folgende:

Vorschrittstellung links, die Knie etwas gebogen, das rechte mehr als das linke. Linker Fuß fast ganz entlastet. Rechte Hand mit Kugel möglichst weit hinten, dicht an der Schulter. Hand dorsalwärts zurückgebeugt. Rumpf nach rechts zurückgedreht und über die rechte Seite zurückgebeugt. Es wird nun zunächst das zurückstehende rechte Bein gestreckt und dabei die Körperlast auf das linke, etwas im Knie einsinkende Bein geschoben. Der Impuls zur Vorbewegung erfolgt durch Abstoßen des Körpers nach vorn mit dem rechten Fuß, bevor er den Boden verläßt, oder wenn er nach einem kurzen Hüpfsprung den Boden wieder berührt. Dabei kann auch das linke Bein vom Boden gehoben und weiter vorn aufgesetzt werden, oder es wird zunächst das rechte Bein nachgestellt und dann mit dem linken Bein noch ein Schritt nach vorn gemacht. Dem Körper und namentlich der Schultergegend wird hierdurch bereits eine energische Vorbewegung, zugleich aber dem Oberkörper von der Hüfte an auch schon ein Impuls zur horizontalen Drehung nach links, also der rechten Schulter eine stärkere Vorbewegung erteilt. Dieser Effekt wird nun verdoppelt, unter besonderer Verstärkung des Impulses nach oben, durch die Streckaktion des linken Beines, die auch wieder mit einer Aktion der Hüftmuskeln zur Drehung des Rumpfes nach links verbunden ist. Jetzt erst setzt mit aller Macht die Streckaktion im Rumpf selbst ein und kombiniert sich mit der Linksdrehung der oberen Teile des Rumpfes gegenüber den unteren; noch im Verlauf der Streckung setzt die Vorführung der Schulter gegenüber dem Thorax ein und noch vor dem Abschluß der letzteren erfolgt der machtvolle Vorstoß des Armes nach vorn und oben. Dieser Vorstoß geschieht, während infolge der Streckaktion des linken Beines und des Rumpfes der Körper in die Höhe geht und der linke Fuß den Boden verläßt; die gewonnene Vorbewegung des gleichsam frei schwebenden übrigen Körpers wird durch die Stoßaktion des rechten Armes annulliert, ebenso wie die Drehung nach links. Während beim erwähnten Schlußsprung das linke Bein frei zurückgeht, kann das rechte um ebenso viel frei vorgestellt werden. Am Bewegungszustand des Gesamtschwerpunktes wird durch diesen Stellungswechsel der Beine nicht viel geändert. Der Körper sinkt nun einfach ins rechte Knie nieder zur Gleichgewichts- und Ruhestellung, während noch die Hand und Finger kraftvoll vorgebeugt werden, um der sich ablösenden Kugel noch einen letzten Impuls zu geben. Die Aktion in den Hand- und Fingergelenken hilft selbst wieder mit zur Hemmung der Vorbewegung des Armes.

Es gilt mit Recht bei Wettkämpfen als Kunstfehler, der den Wurf ungültig macht, wenn der Körper seine Vorbewegung über den aufgesetzten rechten Fuß und die vordere Grenze des Standfeldes hinaus fortsetzt.

Beim kunstgerechten Wurf sind also in der eigentlichen Hauptaktion nach dem Vorsprung gerade im letzten Augenblick sämtliche Gelenke offen und findet dann überall an ihnen nützliche Aktion statt, und bis zum letzten Augenblick wird am Boden noch nützlicher lokomotorischer Widerstand erzeugt. Nirgends ist bis zum Schluß die nützliche Vorbewegung der Glieder völlig sistiert oder gar in Rückbewegung verwandelt, nirgends ist sie durch äußere Widerstände oder durch die Aktion oder durch passive Widerstände basalwärts gelegener Gelenke gehemmt. Die Verzögerung der Vorbewegung erfolgt nur durch reaktive Einwirkung von distal gelegenen Gelenken her und geschieht in der Weise, daß die lebendige Kraft der Vorbewegung überall erst im Moment des Abwurfes der Kugel, dann aber auch überall am Körper vollständig annulliert ist. So ist dann wirklich die ganze durch die Gelenkaktion gewonnene lebendige Kraft der Vorbewegung auf die Kugel übertragen.

Bei der Wurfbewegung nach vorn muß auch Bewegung nach oben erzeugt werden. Es wird dabei zur Hebung der Körpermasse Arbeit verbraucht. Überschüssige lebendige Kraft aufwärts gerichteter Bewegung kann der Emporbewegung

des Geschosses zugute kommen, wenn sie durch die reaktive Wirkung bei der Aktion oberer Gelenke, nicht aber wenn sie durch die Schwere allein annulliert wird. Die vertikale Aktion oberer Gelenke muß daher einsetzen sofort nach Vollendung der Hauptaktion in den unteren Gelenken, während die Körpermasse noch in Bewegung nach oben begriffen ist. Wir sehen deshalb auch beim richtig ausgeführten Kugelstoß die wichtigsten Hebungsaktionen erst gegen den Schluß des ganzen Vorganges rasch aufeinander sich aufbauen.

In ähnlicher Weise lassen sich auch andere Wurfbewegungen auf die erörterten Prinzipien zurückführen, so der Diskuswurf, das Werfen des Schleuderballes usw.

Beim sog. klassischen Diskuswurf ruht in der Ausgangsstellung die Körperlast auf dem ziemlich stark gebogenen rechten Bein, das linke Bein ist als Spielbein zurückgestellt und berührt mit der Fußspitze den Boden. Der Rumpf ist über seine rechte Seite zurückgebeugt und nach rechts gedreht; rechte Schulter und rechter Arm (gestreckt) sind am Körper möglichst nach hinten gebracht. Durch die Streckung des rechten Beines und der eingebogenen rechten Körperseite werden die Schultern nach vorn und oben geführt; damit verbindet sich eine machtvolle Drehung nach links. Der Arm, indem er seitlich gehoben wird, kreist mehr oder weniger seitlich herum nach vorn, indem er zunächst der Drehung des Oberrumpfes mehr passiv folgt; erst wenn er an der Schulter vorbei nach vorn gelangt ist, entfalten die Muskeln zur Vorführung der Schulter gegen den Rumpf und des Armes im Schultergelenk (Ventral- und Aufwärtsbewegung) ihre Hauptaktion. Jetzt wird durch die reaktive Wirkung die lebendige Kraft der Auf- und Vorbewegung und der Drehung der basalwärts gelegenen Teile vernichtet, während ebensoviel neue lebendige Kraft dem Ende des Armes und der Wurfscheibe hinzugefügt wird. Auch hier verläßt der rechte Fuß etwas den Boden und erfolgt Wechsel der Beinstellung am frei schwebenden Körper. Dieser sinkt in das vorgestellte linke Bein nach unten und gelangt wo möglich schon auf ihm oder aber auf dem neu vorgestellten rechten Bein zur Ruhe. Auch hier ist von besonderer Wichtigkeit der letzte Impuls, der von der sich streckenden, bisher auswärts abduzierten Hand dem hinteren Rand der sich ablösenden Wurfscheibe erteilt wird. Durch ihn wird der Scheibe zugleich die Rotationsbewegung (vorn herum) nach rechts aufgezwungen. Für die horizontale Bewegung ist hier wie beim Kugelstoß die dem Körper frühzeitig erteilte horizontale Drehung von großer Bedeutung. Durch Rückstoß des Armes gegen die Peripherie des sich drehenden Körpers wird die Drehung zugleich mit der Vorbewegung annulliert. In entsprechendem Betrag vermehrt die Aktion der Armgelenke die lebendige Kraft des Armes und des Wurfgeschosses.

Eine möglichst große horizontale Drehgeschwindigkeit des Körpers und des mit ihm kreisenden Armes wird bei dem modernen Diskuswurf, beim Werfen des Schleuderballes etc. zustande gebracht durch ein- oder mehrmalige Umdrehung des Körpers unter sprunghaften Vorbewegungen. Auch hier aber erfolgt schließlich eine Hemmung der Drehbewegung und der damit verbundenen Vorbewegung durch eine letzte besonders energische Ventral- und Aufwärtsbewegung des Armes aus zuletzt erreichter seitlicher Stellung.

c) Stoß, Schlag und Hieb.

Stoß und Schlag können dazu dienen, eine anfangs vom Körper getrennte Masse in Bewegung zu versetzen (Stoßen oder Schlagen eines Balles). Solches kann mit oder ohne Hilfe eines Werkzeuges geschehen. Hierbei findet eine einfache Übertragung von lebendiger Kraft vom Arm und dem eventuell von ihm geführten Werkzeug auf die fremde Masse statt. Häufig aber vollzieht sich während derselben noch eine Aktion in den letzten Gelenken, wodurch die Dauer der Einwirkung auf die Masse verlängert, die Beschleunigung vergrößert und oft auch die Richtung und Art der Bewegung modifiziert wird. Feine und ge-

naue Abmessung der hervorgerufenen Bewegung nach Größe und Richtung ist oft wichtiger als möglichst große Kraftentfaltung.

In anderen Fällen wird der äußeren Masse wegen ihrer Größe oder Feststellung keine erhebliche Bewegung im ganzen mitgeteilt. Die lebendige Kraft des Armes und des allenfalls von ihm geführten Werkzeuges wird verwendet zur Veränderung und Schädigung der inneren Struktur des vom Stoß, Schlag oder Hieb getroffenen Objektes, zu einer Zertrennung, Zerschneidung, Durchstechung oder Zerstrümmerung desselben. Auch hier kann durch eine Aktion in den letzten Gelenken nachgeholfen werden, wenn es sich darum handelt, Widerstände über eine größere Wegstrecke zu überwinden.

Daß hier manche Analogien mit den Verhältnissen bei der Wurfbewegung bestehen, liegt auf der Hand. Alles was an lebendiger Kraft am Körper und Arm nach vollendeter Einwirkung übrig bleibt, ist offenbar nutzlos. Beim Stoß geschieht die Einwirkung auf das äußere Objekt wesentlich in der Richtung der Armlinie, beim Schlag und Hieb wesentlich senkrecht zu der Richtung des Armes oder seines stärker bewegten Endgliedes (im ersten Fall hetero-, im zweiten homotropische Aktion an aufeinander folgenden Gelenken).

Wenn das beim Schlag oder Hieb pendelartig, mit großem Ausschlag einheitlich bewegte Endglied des Armes oder die von ihm geführte Waffe am äußeren Objekt einen starken und plötzlichen Widerstand findet, so macht sich an dem Gelenk, in welchem die Drehung vor sich geht, eine starke und plötzliche Wirkung gegen die Achse geltend, sobald der resultierende Widerstand nicht gegen das Stoßzentrum der in Drehung befindlichen Teilen gerichtet ist. Und zwar erfolgt diese Einwirkung vom Endglied aus in der Richtung seiner Bewegung, wenn die Kraftlinie des resultierenden Widerstandes distal am Perkussionszentrum vorbeigeht, in umgekehrter Richtung dagegen, wenn sie proximal von ihm gelegen ist. Beim Schlag mit dem Hammer wird diese schädliche Einwirkung dadurch auf ein Minimum reduziert, daß dem Hammer zuletzt noch eine drehende Bewegung gegenüber der Hand erteilt wird und diese ihn im Moment des Aufschlagens nur lose, wie in einem Gelenk hält. Ähnlich wie der Hammer in der Hand, kann beim Schlag mit der Faust die Hand im Handgelenk geführt werden.

Insofern aber die Geschwindigkeit des Endteiles des Armes im Moment vor dem Aufschlagen noch nicht annulliert ist und erst durch den Schlag selbst plötzlich gehemmt wird, ist es mitunter von Vorteil, wenn die proximalwärts liegenden Gelenke gegenüber den Einwirkungen, welche das distale Glied hemmen und zurückhalten, nicht vollkommen passiv sondern elastisch, durch Muskelkräfte mit der Möglichkeit, nachgebender Gelenkbewegung festgestellt sind. Ein Schlag z. B. mit der Faust mit vollständig gestrecktem, nach der Seite der Ellenbeuge bewegtem Arm wird ja vom Ausführenden deutlich als schädigend für das Ellbogengelenk empfunden.

3. Lokomotorische Aktionen der freien oberen Extremität.

a) Einfluß der Armbewegungen auf das Körpergleichgewicht.

Jeder Umstellung des Armes gegenüber dem Rumpf oder seiner Teile gegeneinander entspricht natürlich eine Änderung der Lage des Armschwerpunktes gegenüber dem Rumpf. Man pflegt sich vorzustellen, daß hiervon allein die Änderung der Lage des Gesamtschwerpunktes abhängt, welche sich das eine Mal als Störung des Körpergleichgewichtes, das andere Mal als Korrektur der Gleichgewichtstörung (Äquilibrier- oder Balancierbewegung) geltend macht. In der Tat beginnt der Körper nach vorn zu fallen, wenn wir im äquilibrierten Stand auf den Zehen die Arme aus dem „Abhang" nach vorn heben, anscheinend weil der Schwerpunkt der Arme nach vorn verlegt und damit auch der Gesamtschwerpunkt über die Unterstützungsfläche nach vorn verschoben wird. Wenn wir aber im Zehenstand bei vorgestreckten Armen im Gleichgewicht sind, und nun die Arme zur Senkelhalte heben, so schickt sich wider Erwarten der Körper nicht an, rückwärts zu fallen, obschon der Armschwerpunkt gegenüber dem übrigen Körper nach hinten verschoben wird, sondern es macht sich auch diesmal der Anfang des Vorwärtsfallens bemerkbar. Die Verschiebung des gemeinsamen Schwerpunktes hängt eben nicht bloß von der Bewegung des Armes, sondern auch von der Bewegung des übrigen Körpers ab; die Änderung des Bewegungszustandes der Gesamtmasse entspricht nach Größe und Richtung den durch die Aktion hervorgerufenen neuen Widerständen. An der Unterstützungsfläche werden sowohl bei der Hebung des Armes nach vorn zur Waghalte, als bei der weiteren Hebung zur Senkelhalte Rumpf und Arm vorn auseinander getrieben; die Füße drängen nach hinten und rufen am Boden einen neuen, vorwärts gerichteten Widerstand hervor. Die Schultern mit dem oberen Ende des Rumpfes werden nach vorn gezogen. Der Gesamtschwerpunkt verschiebt sich in beiden Fällen über die Unterstützungsfläche hinaus nach vorn. Um den „lokomotorischen Effekt" einer Armbewegung richtig zu beurteilen, ist es also durchaus notwendig, sich klar zu machen, wie die zwischen dem Gelenk, an welchem die Aktion stattfindet, und der Unterstützungsfläche befindliche Masse sich bewegen müßte, wenn sie in sich versteift wäre und keine äußeren Kräfte in Frage kämen. Daraus kann auf die tatsächlich an der Unterstützungsfläche erzeugten neuen Widerstände geschlossen werden. (Solches gilt übrigens für die Beurteilung des lokomotorischen Einflusses der Aktion an irgend einem Gelenk des Körpers, insofern wenigstens das jeweilige „Unterstück" gegenüber den Einflüssen von der Aktionsstelle her passiv oder aktiv einigermaßen versteift ist.)

Je energischer die Aktion zur Bewegung des „Oberstückes" und einer allfällig mit ihm verbundenen fremden Masse (Schwunggewicht, Balancierstange etc.) ist, desto größer ist auch der am Fuß neu erzeugte Widerstand und die dem Ganzen erteilte Beschleunigung. Bewegungen der Arme und namentlich der mit Balancierstange bewaffneten Arme sind besonders geeignet zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes (Balan-

cieren, Äquilibration), weil sie sehr fein abgestuft werden können. Sie sind besonders wichtig wo andere Hilfsmittel, insbesondere die Möglichkeit seitlicher Versetzung der Füße fehlen (Gehen und Stehen auf schmaler Kante, auf dem Seil).

b) Der Sprung und die Unterstützung desselben durch die Bewegung der freien Arme.

Der Umstand, daß durch eine Aktion an Armgelenken neue Widerstände an der Unterstützungsfläche der Füße wachgerufen und der Gesamtmasse des Körpers lokomotorische Impulse erteilt werden, macht verständlich, daß Armbewegungen zur Unterstützung der Sprungbewegung dienen können. Im Gegensatz zu der Wurfbewegung kommt beim Sprung alles darauf an, nicht einem Projektil, sondern der Gesamtmasse des Körpers eine so große lebendige Kraft als immer möglich zu erteilen. Beim Hochsprung geht die Bewegung mehr nach oben, Beine und Füße müssen hier möglichst ebenso hoch emporbewegt werden als die untere Peripherie des Rumpfes. Beim Weitspringen müssen die Füße im Moment der Wiederberührung des Bodens so weit als möglich vor den Rumpf vorgesetzt sein. Immerhin muß der Niedersprung so erfolgen, daß der Körper sich vermöge seiner Vorbewegung über den Füßen, die zuerst gehemmt werden, noch nach vorn dreht und daß der Rumpf nicht hinter den Füßen am Boden, sondern über ihnen in federnder Kniebeuge zur Ruhe kommt. Der Hochweitsprung ist ein Weitsprung mit möglichst bis in die höchste Lage des unteren Rumpfendes hinauf geführten Füßen.

Wie bereits erläutert wurde, muß die ganze lebendige Kraft der Bewegung gewonnen sein im Augenblick, da die Füße den Boden verlassen. Das Arbeitsvermögen aller Gelenke, welche zur nützlichen Beschleunigung der über ihnen resp. vor ihnen gelegenen Körpermasse beitragen, muß in diesem Augenblick völlig ausgenutzt sein. Die Aktion wird im Gegensatz zum Wurf mit Vorteil in oberen Gelenken etwas früher beginnen als in unteren; so bleibt z. B. das Sprunggelenk zunächst gebeugt, die Ferse dem Boden aufgesetzt, wenn die Hauptaktion in den darüber gelegenen Gelenken schon beginnt. Doch muß auch hier die Streckaktion einsetzen, sobald der Fuß von den darüber gelegenen Teilen mit emporgezogen wird. Im großen und ganzen entfalten alle beteiligten Gelenke ihre Aktion nahezu gleichzeitig. Neben der Streckbewegung der Beingelenke ist auch die Streckung der Rumpfwirbelsäule von erheblicher Bedeutung. — Eine Richtung der Bewegung mehr nach vorn wird dadurch erzielt, daß die Hauptstreckaktion bei vorgeneigtem, nach vorn fallendem Körper stattfindet. Außerdem muß hier eine stärkere Aktion der Hüftmuskeln (Rückwärtsschlagen der Beine, Ruderwirkung) stattfinden. Hierdurch wird aber zugleich der ganzen Körpermasse eine Drehung hintenüber erteilt und die aus dem Vorfallen resultierende Drehung aufgehoben und überkompensiert; der Körper darf und muß beim Weitsprung im Augenblick des Wiederaufsetzens der Füße im ganzen nach hinten gedreht sein.

Jede Aktion, welche erst stattfindet, wenn die Füße den Boden verlassen haben, ändert wohl die Konfiguration des Ganzen und den Bewegungszustand der Partialmassen, aber nicht den Bewegungszustand und die lebendige Kraft des ganzen Systems gegenüber dem Boden.

Soweit also Armbewegungen der Vermehrung der lebendigen Kraft des Sprunges dienen sollen, müssen sie annähernd gleichzeitig mit der

übrigen Aktion stattfinden, während die Füße dem Boden noch aufgesetzt sind. Vorwärtsbewegung der Arme und Hebung aus der vorgestreckten Stellung verstärkt dann sowohl den nach vorn als den nach oben gerichteten Widerstand und lokomotorischen Impuls. Die Aktion ist kraft- und effektvoller, wenn der Arm gestreckt und mit Sprunggewichten (Halteren) bewaffnet ist. Freilich darf ihr Gewicht ein gewisses Maximum nicht überschreiten, da doch die Armbewegung reaktiv auf andere in Aktion begriffene Gelenke zurückwirkt, und deren Arbeitsvermögen nicht beliebig gesteigert werden kann.

Die Senkung und Rückwärtsbewegung der gehobenen Arme (und Sprunggewichte) während des Sprunges selbst, am frei schwebenden Körper kann einen weiteren Vorteil gewähren, derselbe besteht aber nicht in einer Vermehrung der lebendigen Kraft. Vielmehr entspricht der Abwärts- und Rückwärtsbewegung der Arme eine Gegenbewegung des übrigen Körpers. Der untere Teil des Rumpfes und die Beine können dadurch in ihrer Vorbewegung begünstigt und weiter nach vorn gebracht werden, was beim Weitsprung von besonderer Bedeutung ist. Es ist ziemlich gleichgültig, in welchem Zeitpunkt zwischen Absprung und Wiederaufsetzen der Füße diese Aktion erfolgt.

4. Lokomotorische Aktionen des Arms, bei welchen der nützliche äußere Widerstand am Arm selbst erzeugt wird.

a) Allgemeines.

Aus all den Stellungen heraus, in welchen der Körper bei aufgestützten oder angeklammerten Armen und Händen festgestellt ist, oder durch solche Stellungen hindurch, kann der Körper lokomotorisch beeinflußt werden, indem an Körper- und Armgelenken zu den fixierenden Kräften neue Muskelspannungen hinzukommen. Es werden dann neue Widerstände an den äußeren Unterstützungs- und Haltpunkten des Armes erzeugt, deren Richtung sich einigermaßen aus der Konfiguration und Stellung des Systems bei Kenntnis der Aktionsstelle beurteilen läßt. Durch aufmerksame Beobachtung und Untersuchung derartiger Aktionen des lebenden Körpers läßt sich ein genaueres Verständnis über das mechanische Geschehen bei denselben gewinnen.

Auch bei der direkten Verwendung der oberen Extremität zur Erzeugung lokomotorischen Widerstandes können wir, wie bei der unteren Extremität, zwei Hauptmöglichkeiten unterscheiden:

a) Die Verwendung der Extremität als Stemmapparat (Stemmaktion) oder als Zugapparat (aktive Traktion). Die Armlinie (gerade Verbindungslinie zwischen der äußeren Halt- oder Unterstützungsstelle) der Extremität und ihrer Einlenkungsstelle am Stamm) wird hierbei verlängert resp. verkürzt.

b) Die Verwendung als Hebel oder Ruder.

Bei der Hebel- oder Ruderwirkung der Extremitäten wird an der Unterstützungsstelle ein senkrecht zur Bein- resp. Armlinie gerich-

teter Widerstand erzeugt, dem entsprechend die Gesamtmasse des Körpers einen lokomotorischen Impuls in der gleichen Richtung erfährt. Bei dieser Aktion sind meist vor allem die dem Stamm benachbarten Gelenke beteiligt, an der unteren Extremität das Hüftgelenk, an der oberen die Verbindung des Schulterblattes mit dem Stamm und das Schultergelenk (Kräfte der Kranialwärts- und Kaudalwärtsdrehung). Die übrigen Gelenke der Extremität sind dabei festgestellt oder unter Widerstand nachgiebig gemacht; doch können konforme homotrope Aktionen an diesen distaleren Gelenken die Hebel- oder Ruderwirkung unterstützen, wobei die auf S. 351 erörterten Gesichtspunkte Geltung haben. Die oberen Extremitäten können einzeln oder zusammen fast in jeder Lage des Körpers und in jeder Richtung als Hebel oder Ruder benützt werden. Von speziellem Interesse ist der Gebrauch der oberen Extremität als Lokomotionsorgan in der Vierfüßlerstellung auf festem Boden und beim Schwimmen.

Was die Stemm- oder Streckaktion der Extremitäten betrifft, so ist sie bei der unteren Extremität das Ergebnis der gleichzeitigen heterotropen Aktion (Streckung) im Hüft- und Kniegelenk, oder im Hüft-, Knie- und Fußgelenk. Die Beteiligung der unteren Extremität bei der senkrechten Erhebung des Körpers (Steigen, Sprung) und beim Gewichtheben wurde von uns bereits näher erläutert. Am Arm liegen ganz ähnliche Verhältnisse vor bei der Aufrichtung des Körpers aus dem Knickstütz oder „Armliegestütz vorlings". Während nun aber bei der unteren Extremität eine An- oder Einhackung der Füße seltener vorkommt und deshalb auch eine Längstraktion in der Richtung der Beinlinie keine große Rolle spielt, ist bei der oberen Extremität das Heranziehen des Rumpfes an die angeklammerten Hände ein vielgeübter Akt.

Zwischen den genannten zwei Hauptmöglichkeiten im Gebrauch der oberen Extremitäten, die sich bei festgehaltenen Enden verlängern oder verkürzen, oder als Hebel oder Ruder zur Seite resp. nach vorn oder hinten schlagen, gibt es nun alle Zwischenformen, bei denen es sich um Kombination der einen Gebrauchsweise mit der anderen handelt.

Im folgenden soll dies an einigen Beispielen erläutert werden. Es wird sich dabei zugleich zeigen, wie sich bei festgehaltenen Händen Aktionen der oberen Extremität mit solchen an anderen Körpergelenken kombinieren können. Wir wählen zur Besprechung einige aus dem Streckhang heraus vorgenommene turnerische Übungen. Eine genauere Würdigung derselben ist unseres Wissens bis jetzt niemals versucht worden.

b) Streckung und turnerische Übungen aus dem Streckhang.

Beim Streckhang hängt ebenso wie bei der Streckstütze an irgend einem turnerischen Gerät etc. die Last des übrigen Körpers in annähernd vertikaler gestreckter Stellung zwischen den Armen resp. den Schultern herab; nur sind die Arme nach oben statt nach unten gestreckt. Der Körper befindet sich im allgemeinen in ähnlicher Form wie bei der Hoch-

halte der Arme im aufrechten Stand. Nur sind bei eleganter Haltung die Fußgelenke stark gestreckt. Die Lendenkrümmung ist verschärft. Das Becken hängt an der Wirbelsäule in stärkerer Neigung. Die Oberschenkel steigen etwas nach hinten ab, die Kniegelenke können ganz leicht gebeugt sein.

Der Humerus kann bei maximaler Hebung (Axillarextension) im Schultergelenk höchstens denjenigen Meridian seiner Exkursionskugel erreichen, welcher mit der Schulterblattmittellinie zusammenfällt. Der axillare Rand des Schulterblattes läuft beim Streckhang ziemlich genau longitudinal zum schräg gestellten Thorax, steigt also in einer Sagittalebene nach vorn ab. Die Hauptebene des Schulterblattes steht auch in dieser maximalen Aufrichtungsstellung noch nicht völlig sagittal. Die Mittellinie der Scapula kann also an der Rückseite des Thorax ziemlich genau frontal nach innen absteigen. Die Ventralseite des Schulterblattes ist etwas nach oben gewendet, der Humerus etwas nach der Ventralseite zu abgelenkt. Je mehr aber das Schulterblatt bei aufwärts gerichter Pfanne vom sagittalen Verlauf abweicht, desto mehr muß der Humerus gegenüber demselben ventralwärts abgelenkt, und desto mehr muß die ventrale Breitseite des Schulterblattes nach oben gewendet sein; um so mehr muß aber auch der Oberkörper zurückgebeugt sein bei vertikaler Stellung der Arme. Aus den gleichen Gründen ist schon bei der Erhebung der Arme zur Senkelhalte im Stand der Oberkörper zurückgebeugt, das Becken stärker geneigt und gegenüber den Füßen vorgeschoben. Die Ebene durch die vertikal stehenden Armlinien geht dabei etwas vor dem gemeinsamen Schwerpunkt der Arme und des Rumpfes vorbei. Beim Hang an vertikal gestellten Armen müssen also bei übereinstimmender Stellung der Schulterblätter und des Oberkörpers die Beine stärker rückwärts bewegt sein, damit der Körperschwerpunkt senkrecht unter die Hände zu liegen kommt.

Streckhang bei noch stärker nach hinten zusammen gekrümmter Wirbelsäule und noch weiter zurückgeführten Ober- und Unterschenkeln ist nur möglich, wenn die Schultern stärker nach vorn gehen und die Arme etwas nach hinten aufsteigen. Die Schulterblätter werden sich dabei noch mehr horizontal stellen und der Oberrumpf wird noch stärker nach hinten oben zurückgelegt sein müssen.

Wir nehmen dabei an, daß der Körper lose an den Händen hängt. Bei festem Griff und Anspannung der Handbeuger bei Kammgriff oder der Strecker bei Ristgriff kann wohl der Körperschwerpunkt vor die Hände gebracht und der rückwärts zusammengekrümmte Körper im ganzen in einer vorwärts absteigenden Linie gehalten werden.

Wird dagegen die Rückwärtskrümmung der Rumpfwirbelsäule aufgehoben und tritt statt dessen Vorbeugung ein, kombiniert mit Beugung der Hüfte und Streckung in den Kniegelenken, wodurch der Körperschwerpunkt vor den Rumpf zu liegen kommt, so müssen notwendigerweise zur Feststellung im Hang bei losem Griff die Schultergelenke nach hinten gehen und die Arme eine Richtung nach hinten unten annehmen. Die Last des in den Schultergelenken hängenden, versteiften Körpers kommt dabei vor diese Gelenke zu liegen; es müssen die vorderen Muskeln des Schultergelenkes angespannt sein, um das Zurückpendeln dieser Last zu verhindern. Eine stärkere Anspannung der genannten Muskeln, welche den vorderen Winkel zwischen Arm und Rumpf verkleinert, muß von einer weiteren Rückwärtsverschiebung der Schultergelenke (bei der neuen Gleichgewichtslage im Hang) begleitet sein. Das Schulterblatt geht beim Übergang in diese Stellung in eine mehr vertikale, ja vorwärts geneigte Lage über unter entsprechender Auf-

richtung und schließlicher Vorneigung des Brustkorbes. Bei festem Klammergriff und Anspannung der Vorderarmmuskeln, welche den Vorderarm zurückbewegen, kann der Körperschwerpunkt in einer Lage etwas nach hinten von den Händen, und der ganze Körper in etwas rückwärts absteigender Lage festgehalten werden. Es gehört bekanntlich große Kraft und viel Übung dazu, um beim Streckhang am Reck den Körperschwerpunkt in dieser Weise nach hinten zu drängen und sich nun unter Dorsalhebung der Vorderarme gegenüber der Hand, Beugung der Ellbogen und Aufrichtung der Oberarme hinter der Reckstange langsam bis in die Stützstellung emporzustemmen.

Das hier Angeführte bezieht sich auf die Gleichgewichtslagen im Hang bei gestreckten Armen. Es läßt sich daraus ersehen, welche Kräfte zur Erhaltung des Körpers in den verschiedenen Stellungen und allenfalls auch zur langsamen Überführung aus der einen Stellung in die andere notwendig sind. Wir können diese Stellungen als mittleren, vorderen und hinteren Streckhang voneinander unterscheiden.

Im vorderen Streckhang, bei welchem die Arme vorwärts absteigen und der Schwerpunkt der angehängten Last hinter den Schultergelenken liegt, müssen natürlich hintere Muskeln des Schultergelenkes, es muß insbesondere auch der hintere Teil des Deltamuskels gespannt sein. Zwischen Arm und Schulter einerseits, dem Stamm andererseits, müssen beim mittleren und vorderen Streckhang diejenigen Muskeln gespannt sein, welche den Stamm hindern, zwischen den Schulterblättern dorsalwärts und beckenwärts zu sinken. Es kommen hierbei vor allem der untere Teil des Trapezius und des Latissimus dorsi in Betracht. Sie bilden auf beiden Seiten zusammen eine Halfter, welche den rückwärts geneigten oberen Teil des Rumpfstammes von hinten und unten her umfaßt. Beim vorderen Streckhang muß zugleich dem Bestreben des Stammes, sich zwischen den Schultern so zu drehen, daß der untere Teil vor-, der obere zurückgeht, entgegengewirkt werden; dies geschieht durch den obersten Teil des Trapezius und den unteren Serratus. Beim hinteren Streckhang liegt der Schwerpunkt des in den Schultern hängenden Körperabschnittes vor den rückwärts durchgedrückten Schultern. Am Schultergelenk müssen die vorderen Muskeln angespannt sein. Da der Brustkorb vorwärts geneigt ist, so hängt er in einer Muskelhalfter, welche vom Serratus anterior, Pectoralis minor und den unteren Teilen des Pectoralis major gebildet ist. Die Drehung der in den Schultern hängenden Masse im Sinn der Vorbewegung oben und der Rückbewegung unten wird verhindert durch Anspannung der Rhomboidei, des Pectoralis minor und der oberen Teile des Serratus und Pectoralis major.

Schwingen im Hang.

Veränderungen in den fixierenden Muskelkräften in einer Gleichgewichtslage, sei es Spannungszunahme oder Nachlassen der Spannung, bewirken, daß Bewegung in den Gelenken auftritt. Dabei müssen Veränderungen der Widerstände an den Unterstützungspunkten der Hände in vertikaler und sagittaler Richtung hervorgerufen werden, denen be-

schleunigende Einwirkungen auf den Gesamtschwerpunkt entsprechen. Drücken die Arme nach vorn gegen die Stange, so wird der Rumpf mit den Schultern nach hinten getrieben und umgekehrt. Für den Fortgang der Bewegung sind neben den neuen Beschleunigungen die erworbenen Geschwindigkeiten (lebendigen Kräfte) zu berücksichtigen.

Anschwingen nach vorn aus dem hinteren Streckhang. Hierbei drücken die Hand resp. die hackenförmig umgebogenen Finger nach hinten gegen die Stange. Wir bringen im festen Klammergriff der Hand unter Volarbeugung des Vorderarms gegen die Hand im Kammgriff (Pronation), unter Dorsalbeugung im Ristgriff (Supinationsstellung), ferner durch Streckung des Ellbogens, Axillarstreckung des Schultergelenkes und Streckung des Rumpfstammes und der Hüftgelenke den Körper und Körperschwerpunkt unter der Reckstange nach vorn und dann wieder, nach vollendetem Vorschwung durch die entgegengesetzten Aktionen, unter Verstärkung des Rückschwingens nach hinten. Dies wiederholt sich. Dabei vergrößert sich rasch der Pendelausschlag.

Oder es wird auf einmal die Verschiebung des nach vorn pendelnden Körpers zunächst durch weiteres Anziehen der Brust gegen die Stange, dann durch mächtige Beugung des Rumpfes und der Hüfte und endlich durch Wiederstreckung des Körpers (Rückwärtszusammenkrümmung des Stammes, Durchdrücken der Schulter nach vorn) zu einem mächtigen Vorschwung gestaltet, durch welchen eine vordere hohe Ausschlagsstellung in fast horizontalem Streckhang mit rückwärts zusammengekrümmtem Körper erreicht wird, als Ausgangspunkt für ein mächtiges Zurückschwingen.

An den Rückschwung in gestreckter resp. überstreckter Haltung kann sich bei der Annäherung an die hintere Hochlage (durch Druck mit den Armen gegen die Stange nach unten) ein Aufstemmen zur Streckstütz anschließen (Schwungstemme). Der Rumpf wird dabei kraftvoll den Armen genähert, Rumpf und Hüften bleiben aber bis zum Anschlagen an die Stange gestreckt. Beim Aufstemmen werden die Schultern in kraftvollem Ruck der Stange etwas genähert; die Arme werden dabei aber nur wenig gebeugt und alsbald wieder gestreckt.

Kippen.

Eine Gruppe von in mechanischer Hinsicht sehr interessanten turnerischen Übungen, die aus dem Hang vorgenommen werden können, sind die Kippen. Charakteristisch für dieselben ist eine gesteigerte Aktion ähnlicher Art, wie sie zum Übergang aus dem vorderen in den hinteren Streckhang notwendig ist. Einfach, nicht in der Ausführung aber in der Theorie, ist das Aufkippen aus dem vorderen Streckhang: a) Die Zusammenkrümmung des Körpers in der Ausgangslage wird soweit als möglich getrieben, der Körperschwerpunkt soweit möglich unter den Händen nach vorn verlegt (s. o.); b) aus dieser Stellung, in welcher der Körper wie eine Feder gespannt ist, folgt zuerst in einem Ruck die völlige Streckung der Beine, Beugung im Hüftgelenk und Beugung der Lendenwirbelsäule, wodurch der Körper an

den Armen rückwärts gehebelt, die Schulter aber zunächst eher noch etwas stärker relativ nach vorn durchgedrückt wird. Der vorn zusammengelegte Körper schwingt als verkürztes Pendel rückwärts in die Höhe. Die Aufwärtsbewegung wird zugleich durch Aufwärtsbewegung des Stammes in den Schultern verstärkt und nun schließt sich im richtigen Augenblick auch noch die kraftvolle Anziehung des Rumpfes an die Arme an, durch welche das Ganze noch weiter hinter der Stange emporgehebelt wird.

Beim Aufkippen mit Vorschwung besteht die nicht allzu leichte Kunst der Ausführung darin, daß erstens ein Vorschwingen in vordere Streckhangstellung geschieht, zweitens die Beugung der Lende und Hüfte und damit die Hebung der gestreckten Beine erst beginnt, wenn bereits der Rückschwung mit vorwärts durchgedrückten Schultern beginnt; drittens muß diese Beugung so rasch vollzogen werden, daß sie das Rückschwingen des verkürzten Pendels wesentlich befördert und viertens muß der Winkel zwischen den Armen und dem Rumpf so lange möglichst offen bleiben, bis der Körperschwerpunkt erheblich hinter der Stange in die Höhe gegangen ist. Dann aber und bevor die Rückbewegung zu Ende ist, muß mit aller Kraft die Anziehung des Rumpfes gegen die Arme und die aktive Schließung dieses Winkels zwischen Rumpf und Armen durchgeführt werden.

Ostern 1917.

Literaturverzeichnis zur oberen Extremität.

Es gelten hier dieselben Bemerkungen, welche dem Literaturverzeichnis für die untere Extremität vorausgeschickt wurden. Speziell sei noch, was die zusammenfassenden Darstellungen betrifft, verwiesen auf

Frohse und Fränkel, Die Muskeln des menschlichen Armes. 15. Lief. d. Handb. d. Anat. von Bardeleben (Sammelwerk). Jena 1908.

I. Schulter und Oberarm.

Schultergelenk.

Ludkewitsch, A., L'articulation de l'épaule. Bull. soc. vaud. sc. nat. Vol. XXXV. Nr. 134. 1900.

Panas, E., Épaule. Nouveau dict. de méd. et de chir. Paris 1870.

Werner, H., Die Dicke der menschlichen Gelenkknorpel. Inaug.-Diss. Berlin 1897.

Braune, W. und Fischer, O., Über den Anteil, den die einzelnen Gelenke des Schultergürtels an der Beweglichkeit des menschlichen Humerus haben. Abh. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1888.

Straßer, H., Zur Kenntnis der funktionellen Anpassung der quergestreiften Muskeln. Stuttgart 1883.

Shiino, K., Schultergelenkbewegungen und Schultermuskelarbeit. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1913. Suppl.

Fick, A. E., und Weber, Emm., Anatom.-mechanische Studie über die Schultermuskeln. Verh. d. physik.-med. Gesellsch. Würzburg. N. F. XI. 1877.

Albert, E., Zur Mechanik des Schultergelenkes des Menschen. Wien. med. Jahrb. 1877.

Thöle, Mechanik der Bewegungen im Schultergelenk. Arch. f. Psychiatrie 1900.

Grohmann, F. W., Über die Arbeitsleistung der am Ellbogengelenk wirkenden Muskeln. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1902.

Helmholtz, H., Die Wirkungen der Muskeln des Armes. Allg. med. Centralztg. 1857 u. Wissenschaftl. Abh. Bd. 2. 1883.

Langer, K., Die Bewegungen der Gliedmaßen, inbesondere der Arme. Wien. med. Wochenschr. 1859.

Assaky, Contribution à l'anat. et à la physiol. de la cavité glénoide de l'omoplate. Soc. de biol. Revue des sc. méd. 1885.

Welcker, H., Über das Hüftgelenk nebst einigen Bemerkungen über das Schultergelenk. Zeitschr. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. 1875.

— Nachweis eines Lig. teres humeri. Zeitschr. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. II. 1876.

— Über die Lage der Bicepssehne im Schultergelenk. Vers. d. Naturforsch. u. Ärzte. München 1877.

— Die Einwanderung der Bicepssehne in das Schultergelenk. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1878.

Gruber, W., Oberschulterhackenschleimbeutel. Mém. Ac. d. sc. St. Petersbourg 1861.

Langer, C., Über die Fixierung des Humeruskopfes in der Schulterpfanne. Zeitschr. d. Gesellsch. d. Ärzte. Wien 1861.
Aeby, Chr., Beiträge zur Kenntnis der Gelenke. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. VI. 1876.
— Der Luftdruck im menschlichen Hüftgelenke. His Arch. 1880.
Ludkewitsch, A.. s. o.
Kocher, Th., Die Analogien von Schulter- und Hüftgelenkluxationen und ihrer Repositionsmethoden. R. Volkmanns Sammlung klin. Vortr. Nr. 83. 1875.

Schultergürtel.

Waldeyer, W., De claviculae articulis et functione. Inaug.-Diss. Berlin 1861.
Bellini, Ligaments coraco-claviculaires. Bull. Soc. anat. 46. 1891.
Poirier, La clavicule et ses articulations. Journ. de l'anat. et de la phys. 1890.
Brodie, Note on the transverse, humoral, coraco-acromial and coraco-humeral ligaments. Journ. Anat. and Physiol. 24. 1890.
Gegenbaur, C., Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere. I. S. 497. 1898.
— Clavicula und Clithrum. Morph. Jahrb. 23. Bd. 1895.
Meyer, G. H., Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. 1873. S. 130.
Büdinger, K., Über Lähmungen nach Chloroformnarkosen. Arch. f. klin. Chir. Bd. 77. 1894.
Kron, Vorstellung eines Falles von Narkosenlähmung. Deutsche med. Wochenschr. 1894.
Erb, W., Über eine eigentümliche Lokalisation von Lähmungen des Plexus brachialis. Verh. d. Heidelberger naturhist.-med. Vereins 1875.
Word, Comparative anatomy of the muscles of the shoulder. Journ. of Anat. and Physiol. I. 1866.
Lewinski, Der Mechanismus der Schultergürtelbewegungen. Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abt. 1877.
Cleland, J., A Lecture on the shoulder girdle and its movements. Lancet. Vol. I. 1881.
Lane, Mode of fixation of the Scapula. British med. Journ. 1888.
Braune, W. und Fischer, O., Über den Anteil, den die einzelnen Gelenke des Schultergürtels an der Beweglichkeit des menschlichen Humerus haben. Leipzig 1888.
Gaupp, E., Über die Bewegungen des menschlichen Schultergürtels und die Ätiologie der sog. Narkoselähmung. Zentralbl. f. Chir. 1894.
Steinhausen, Beitrag zur Lehre vom Mechanismus der Bewegungen des Schultergürtels. Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abt. Suppl. 1899.
Mollier, Über die Statik und Mechanik des menschlichen Schultergürtels. v. Kupffer-Festschr. 1900.
Merkel, Fr., Bemerkungen über die Schultermuskulatur. Ergebn. d. Anat. XIV. 1904 (1905).

II. Vorderarm und Hand.

Allgemeines. Anatomische Orientierung.

Bell, Sir Charles, Die Hand und ihre Eigenschaften. Übers. von Frz. Kottenkamp. Stuttgart 1851.
Fick, L., Hand und Fuß. Arch. Anat. u. Physiol. 1857.
Aeby, Chr., Die Muskeln des Vorderarms und der Hand bei Säugetieren und beim Menschen. Zeitschr. f. wiss. Zool. 1859.
Braune, W., Etwas von der Form der menschlichen Hand und des menschlichen Fußes in Natur und Kunst. Beiträge z. Physiol. Festschr. f. Carl Ludwig. Leipzig 1887.

Skelett-Strahlen.

Braune, W. und Fischer, O., Die Länge der Finger und Metakarpalknochen an der menschlichen Hand. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1896.
Féré, Note sur la motilité du métacarpe. Compt. rend. Soc. de biol. 1900.

Cowl, W. und du Bois-Reymond, R., Die Stellung der Mittelhandknochen beim Spreizen der Finger. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen. Bd. 2. 1898.
Kopsch, Fr., Die Insertion der Mm. lumbricales an der Hand des Menschen. Eine kritische Untersuchung 1898.
Pfitzner, W., Die Sesambeine des menschlichen Körpers. Morphol. Arbeiten. Jena 1892. 4. Heft.
Stieda, A., Zur Kenntnis der Sesambeine der Finger und Zehen. Beiträge z. klin. Chir. Bd. 42. Anat. Verhandl. Halle 1902.
Thilenius, Über die Entwicklung der Sesambeine. Morphol. Arbeiten. V.
Barkow, L., Syndesmologie 1841.
Braune, W. und O. Fischer, Das Gesetz der Bewegungen in den Gelenken an der Basis der mittleren Finger und im Handgelenk des Menschen. Abh. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. Math-phys. Klasse. 1887.
de Besser, Lydie, I. De l'action mécanique des muscles des doigts et du poignet. II. De la rétraction des muscles après la section de leurs tendons. Thèse Lausanne. Bull. soc. Vaudoise sc. nat. XXXIV. 1899.

Sattel- und Ellipsoidgelenk. Erstes Carpometakarpalgelenk. Daumenmuskeln.

Fick, A., Die Gelenke mit sattelförmigen Flächen. Zeitschr. f. rat. Med. 1854. Ges. Abhandl. I. Bd. 1903.
Günther, G. B., Das Handgelenk in mechanischer, anatomischer und chirurgischer Beziehung. Hamburg 1850.
du Bois-Reymond, R., Über das Sattelgelenk. Arch. Anat. u. Physiol. Phys. Abt. 1895.
— Die Gelenkbewegungen bei der Opposition. Anat. Anz. 15. 1896.
Fick, R., Sattelgelenke. Handb. II. Bd. 1910. S. 219.
Fischer, O., Über Gelenke von zwei Graden der Freiheit. Arch. f. Anat. u. Phys. Anat. Abt. 1887.
Sabatier, Traité d'anatomie. Paris 1764.
Sömmering, De corporis humani fabrica 1796.

Handgelenk.

Günther, G. B., Das Handgelenk. 1850, s. o.
Henke, W., Über die Bewegung der Handwurzel. Zeitschr. f. rat. Med. 1859.
— Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke 1863.
Meyer, H., Das Handgelenk. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1866.
Braude, B. M., Über den Mechanismus des Handgelenkes. St. Petersburg 1883. (Russisch.) Ref. von Leßhaft, Anat. Anz. 1901.
Braune, W. und Fischer, O., Über den Mechanismus der menschlichen Hand. Anat. Anz. 1887.
— Untersuchungen über die Gelenke des menschlichen Armes. II. Das Handgelenk. Abhandl. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. Math.-Phys. Klasse 1887.
Bryce, T. H., On certain points in the Anatomy and Mechanism of the wrist joint, reviewed in the light of Röntgen ray photographs in the living hand. Journ. Anat. and Physiol. Vol. 31. 1896.
Corson, Eug. R., An X-ray study of the normal movements of the carpal Bones and Wrist. Proceed. Assoc. Americ. Anat. Vol. 11. 1896.
Zuckerkandl, E., Notiz über den Mechanismus des Handgelenkes. Anat. Anz. 1897.
Thilo, V., Die Aufstellung des Handskelettes. Verh. Berl. Anthrop.-Gesellsch. 1894.
Virchow, H., Röntgenaufnahmen der Hand. Sitzungsber. Gesellsch. naturf. Freunde. Berlin 1898.
— Das Skelett der ulnarwärts adduzierten und radialwärts abduzierten Hand. Zeitschr. f. Morph. u. Anthrop. Bd. 1. 1899.
— Verh. anat. Gesellsch. 15. Vers. Bonn 1901.
— Über die Einzelmechanismen am Handgelenk. Verh. physiol. Gesellsch. Berlin 1901 u. 1902.

Virchow, H., Die Weiterdrehung des Naviculare carpi bei Dorsalflexion und die Beziehungen der Handbänder. Verh. Anat. Gesellsch. 16. Vers. Halle a. S. 1902.
— Gefrierskelett. Präparat der Hand und Henkesche Achsen. Verh. Physiol. Gesellsch. Berlin 1903.
Forsell, G., Über die Bewegungen im Handgelenk des Menschen. Skand. Arch. f. Physiol. Bd. 12. 1901.
Lyklame, H. J. à Nijeholt, De onderlinge Verhouding der Beenderen van den Voorarmen van den Handwortel bij verschillende Standen van den Hand. Inaug.-Diss. Leyden 1900.
His, W. und Fick, R., X-Photogramme von Conrad Wüest in Aarau. Anat. Anz. Bd. 16. 1899.
Fick, R., Über die Bewegungen in den Handgelenken. Abh. Kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. Math.-phys. Kl. 1901.
— Ergebnisse einer Untersuchung der Handbewegungen mit X-Strahlen. Verh. Anat. Gesellsch. 15. Vers. Bonn 1901.
Leßhaft, P., Das Handgelenk des Menschen. Anat. Anz. 1901.
Benda und Biesalski, Zur Anatomie und Physiologie des Handgelenkes. Verh. Physiol. Gesellsch. Berlin 1906.
Johnston, Varying positions of the carpal bones in the different movements of the wrist. Journ. Anat. Vol. 41. 1907.

Muskelwirkung am Handgelenk.

Weber, Em., Über das Verhalten der Vorderarmmuskeln zu den Hand- und Fingergelenken. Verh. d. phys.-med. Gesellsch. Würzburg 1880.
de Besser, Lydie Egon, Thèse Lausanne 1899, s. o.

III. Ellbogengelenk und Pronations-Supinationsbewegung.

Ellbogengelenk. Flexions-Extensionsbewegung.

Meißner, G., Artikel Lokomotion, Ellbogengelenk in dem Ber. über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie im Jahre 1856.
Meyer, H., Das Ellbogengelenk. Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abt. 1866.
Römer, Zur Entwicklung des Ellbogengelenkes. Inaug.-Diss. Marburg 1863.
Clark, The ankle-joint of man. Diss. Bern 1877.
Braune, W. und Kyrklund, K., Ein Beitrag zur Mechanik des Ellbogengelenkes. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1879.
Fischer, O., Das Ellbogengelenk. Abh. Kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. Math.-phys. Klasse (14.) 1887. Nr. 2.
— Kinematik organischer Gelenke. Braunschweig 1907.
Cunningham, Elbow joint. Journ. Anat. and Physiol. Vol. 23. 1889.
Cuénod, A., L'articulation du coude. Etude d'anatomie comparée. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Phys. Bd. V. 1888.
Hultkrantz, J. Wilh., Das Ellbogengelenk und seine Mechanik. Jena 1897.
Mall, F. P., On the angle of the Ellbow. Americ. Journ. Anat. Vol. 4. 1905.
Fischer, E., Über die Variation der Elle und Speiche. Zeitschr. f. Morphol. u. Anthrop. 1906.
Nagel, R., Untersuchungen über den Armwinkel des Menschen. Zeitschr. f. Morphol. u. Anthropol. 1907.

Pronation und Supination.

Welcker, H., Über Pronation und Supination des Vorderarmes. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1875.
Braune, W. und Flügel, A., Über Pronation und Supination des menschlichen Vorderarms und der Hand. Arch. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1882.
Flesch, M., Zur Pronation und Supination der Hand. Arch. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1885.
— Über die Pronation und Supination der Hand unter physiologischen und pathologischen Verhältnissen. Korrespondenzbl. f. Schweiz. Ärzte. 1885.

Meyer, H., Einige Worte über Beugung, Supination und Pronation. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1886.
Panzacchi, G., Lo spazio interosseo nelle varie posizioni di rotazione del' avambraccio. Arch. Ortopedia. Anno 2°. 1903.

Nebenbewegung der Ulna bei Pronation und Supination.

Le Comte, Du mouvement de rotation de la main. Arch. gén. méd. 2. 1874.
— Le coude et la rotation de la main. Ebenda. 1874 u. 1877.
Einthoven, W., Quelques remarques sur le mécanisme de l'articulation du coude Arch. Néerland. Vol. 17. 1882.
Heiberg, J., Über die Drehung des Vorderarms. Christiania. Vidensk. selsk Forhandlingar. Nr. 8. 1883.
— Zur Geschichte der Lehre von der Drehung der Hand. Ebenda. Nr. 11. 1883.
— De la rotation de la main. Compt. rend. du Congrès intern. Copenhague 1884.
— Die Drehung der Hand. Leipzig 1884.
— The movements of the Ulna in rotation of the fore-arm. Journ. Anat. and Physiol. 1885.
v. Meyer, H., Über die Drehung des Unterarms. Deutsche Zeitschr. f. Chir. 20. 1884.
Dwight, Th., Rotation and Circumduction. Journ. Anat. and Physiol. 19. 1885.
Cathcart, C. W., On the movements of the Ulna in pronation and supination. Journ. Anat. Physiol. 1885.
Dumur, J., Recherches expérimentelles sur les articulations radio-cubitales. Thèse. Bordeaux 1889.

Muskelwirkung zur Flexion-Extension im Ellbogengelenk und zur Pro- und Supination.

Weber, Em., Über das Verhalten der Vorderarmmuskeln zu den Hand- und Fingergelenken. Verh. d. phys.-med. Gesellsch. Würzburg 1880.
Straßer, H., Zur Kenntnis der funktionellen Anpassung der quergestreiften Muskelfasern. Stuttgart 1883.
Braune, W. und Fischer, O., Die Rotationsmomente der Beugemuskeln am Ellbogengelenk des Menschen. Abhandl. Kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. Math.-phys. Klasse 1889.
Grohmann, F. W., Über die Arbeitsleistung der am Ellbogengelenk wirkenden Muskeln. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1902.

IV. Der Arm als Ganzes.

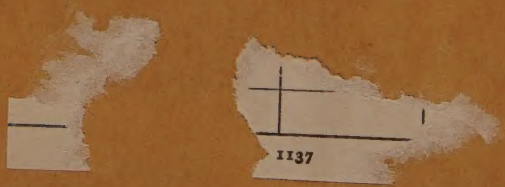
Stellung der Extremitätengelenke. Die sogenannte Torsion des Humerus und des Femur.

Vicq d'Azyr, Sur les rapports entre les usages et la structure des quatre extrémités dans l'homme et les quadripèdes. Mém. Acad. des sc. Paris 1774.
Flourens, Nouvelles observations sur les parallèles des extremités dans l'homme et les quadrupèdes. Ann. des sc. nat. X. 1838.
Holmes, Coste, The homologies of the human sceleton. 1849.
Lavocat, Considérations d'anatomie philosophique sur la torsion de l'Humérus. Compt. rend. Ac. d. sc. Paris. XXXIX. 1854.
Martins, Ch., Nouvelle comparaison des membres pelviens et thoraciques chez l'homme. Mém. Acad. Montpellier. III. 1857.
— Sur la torsion de l'humérus. Bull. soc. Anthrop. Paris. Sér. 2. T. 3. 1868.
Lucae, G., Die Stellung des Humeruskopfes zum Ellbogengelenk beim Europäer und Neger. Arch. Anthrop. Bd. I. 1866.
Gegenbaur, C., Über die Drehung des Humerus. Jenaische Zeitschr. Bd. IV. 1868.
Durand (de Gros), La torsion de l'humérus et les origines animales de l'homme. Bull. soc. d'anthropol. 2. Sér. III. 1868.
Schmid, F., Über die gegenseitige Stellung der Gelenk- und Knochenachsen der vorderen und hinteren Extremitäten bei den Wirbeltieren. Arch. f. Anthropol. Bd. 6. 1873.

Albrecht, P., Beitrag zur Torsionstheorie des Humerus und zur morphologischen Stellung der Patella in der Reihe der Wirbeltiere. Inaug.-Diss. Kiel. 1875.
Broca, P., La torsion de l'humérus et le tropomètre etc. Revue d'anthrop. T. X. 1881.
Manouvrier, L'humérus et le tropomètre. Tableaux et conclusions. Rev. d'anthrop. 2. Sér. 1881.
Holl, M., Über die Entwicklung der Stellung der Gliedmaßen des Menschen. Sitzungsber. K. Akad. d. Wiss. Wien 1891.
Rosaire, E., Contribution à l'étude de l'angle de déclination de l'humérus. Thèse de Lyon 1892.
Mollier, Die paarigen Extremitäten der Wirbeltiere. Anat. Hefte. Bd. 8. 16 u. 24. 1893—1897.
Eisler, P., Die Homologie der Extremitäten. Biol. Zentralbl. Bd. 16. 1896 u. Bd. 18. 1898. Abhandl. Naturf. Gesellsch. Halle Bd. 19. 1902.
Rabl, C., Gedanken und Studien über den Ursprung der Extremitäten. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 70. 1901.
— Über einige Probleme der Morphologie. Verh. Anat. Gesellsch. Anat. Anz. Erg.-Heft 1903.
Le Damany, P., Les torsions osseuses. Leur rôle dans la transformation des membres. Journ. anat. Physiol. Paris. T. 39. 1903.
Lambert, Fr., Beitrag zur Theorie der Torsion des Humerus. Inaug.-Diss. phil. Zürich 1904. (Mit ausführlichem Literaturverzeichnis.)
Fick, R., Handbuch. Bd. I. S. 164. 1904.
Alsberg, M., Die statisch-mechanischen Prinzipien der Extremitätenbildung beim Menschen und bei den Festlandtieren. Polit. Anthrop. Revue. Bd. 5. 1907.
Krause, W., Skelett der oberen und unteren Extremität. 16. Lief. d. Handb. d. Anat. d. Menschen von Bardeleben. Bd. 3. 1909.

Druck der Königl. Universitätsdruckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

Date Due



613.71 119773
St8
V.3&4 Strasser.
Lehrbuch der muskel- und gelenkmechanik.

119773
613.71
St8